

**UNIVERSIDAD DE PANAMA
VICERRECTORIA DE INVESTIGACION Y POSTGRADO
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE LOS SANTOS**



**PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS AGRICOLAS CON ENFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUA**

**CURVAS DE ABSORCION DE NUTRIENTES DE ARROZ EN DIFERENTES
TIPOS DE SUELO Y AMBIENTE AGROECOLOGICO**

**LUIS ALBERTO BARAHONA AMORES
CIP 7 700 1318**

**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OPTENER EL
GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRICOLAS CON ENFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUA**

PANAMA, REPUBLICA DE PANAMA

2017

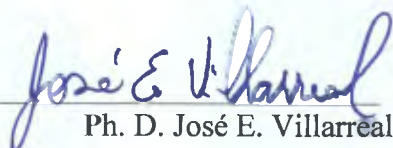
57

**CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DE ARROZ EN DIFERENTES
TIPOS DE SUELO Y AMBIENTE AGROECOLÓGICO**

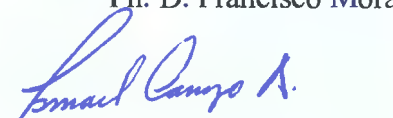
**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OPTENER EL
GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO

 ASESOR
Ph. D. José E. Villarreal N.

 JURADO
Ph. D. Francisco Mora.

 JURADO
Ph. D. Ismael Camargo B.

2017.

6 FEB 2018

Obregón Gudiño

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduacion a mi familia en especial a mi esposa Osiris Del Carmen a mis hijas Xochilth Navid y Dana Raquel a mis padres Pedro y Rubiela y a mis hermanos Pedrin y Janeth por todos los sacrificios y confianza que depositaron en mi y que permitieron que hoy cumpliera con todos los requisitos exigidos por la Universidad de Panama luego de tanta lucha y esfuerzo Tambien lo dedico a mis compañeros de la Maestria en Ciencias Agrícolas con Enfoque en Manejo de Suelos y Agua por la confianza depositada en mi persona la cual me motiva a ser mejor profesional A mis amigos principalmente en mi tierra natal Mariabe (Pedasi) por haber creído en mi y en mis cualidades como profesional responsable

Con todo Cariño y Respeto

Luis Alberto

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por haber permitido que este humilde siervo haya alcanzado esta meta en su vida Profesional que caminara por el sendero de la humildad el honor y espero continuar recibiendo esta bendicion siempre

A la Universidad de Panama a traves del Centro Regional Universitario de Los Santos por haber permitido la realizacion de este trabajo asi como tambien al Instituto de Investigacion Agropecuaria de Panama por el apoyo tecnico cientifico y logistico en esta ardua labor de investigacion

Deseo expresar mi mas sincero agradecimiento al Dr Jose E Villarreal director de este trabajo de graduacion al Dr Francisco Mora y el Dr Ismael Camargo por su valioso apoyo y oportuna orientacion al igual que la exhaustiva revision para lograr la culminacion plena y satisfactoria de este trabajo

A Ruben Samaniego Gustavo Castillo Ruben Rodriguez Yissela Villarreal Leonel Rios Marcelino Garcia Ana Saez Evelyn Quiros Walker Gonzalez y David Diaz por su valiosa ayuda en campo asi como tambien a Jhon Villalaz Adolfo Santo Jorge Nuñez Joige Castro y Jose Rivera por su incondicional cooperacion en los analisis de laboratorio

Luis Alberto

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	11
INDICE GENERAL	111
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCION	3
OBJETIVOS	5
1 Objetivo general	5
2 Objetivos especificos	5
I REVISION DE LITERATURA	6
1 EL CULTIVO DE ARROZ EN PANAMA	6
2 CARACTERISTICAS DE LAS VARIEDADES DE ARROZ GENERADAS POR IDIAP	7
3 NUTRIENTES ESENCIALES Y SU FUNCION EN LA PLANTA	10
4 LA ABSORCION DE NUTRIENTES Y SU IMPORTANCIA EN LA FERTILIZACION	16
5 EXTRACCION DE NUTRIENTES POR EL CULTIVO DE ARROZ	18
II MATERIALES Y METODOS	20
1 LOCALIZACION GEOGRAFICA	20
2 MATERIAL GENETICO	21
3 CARACTERISTICAS EDAFICAS	22
4 ARREGLO EN CAMPO Y MANEJO	23
5 MUESTREO EN CAMPO	24
6 ANALISIS DE LABORATORIO	26
7 ANALISIS ESTADISTICO	29

8	VARIABLES DE ESTUDIO	29
III	RESULTADOS Y DISCUSION	30
1	PRODUCCION DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE GRANO	30
2	CURVAS DE ABSORCION DE NUTRIENTES	32
2 1	Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 106 11 en un suelo Entisol bajo condiciones de secano	34
a	Curva de absorcion de nitrogeno	35
b	Curva de absorcion de fosforo	36
c	Curva de absorcion de potasio	38
d	Curva de absorcion de calcio	39
e	Curva de absorcion de magnesio	41
f	Curva de absorcion de manganeso	42
g	Curva de absorcion de hierro	44
h	Curva de absorcion de cobre	45
i	Curva de absorcion de zinc	47
2 2	Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 137 11 en un suelo Entisol bajo condiciones de secano	48
a	Curva de absorcion de nitrogeno	49
b	Curva de absorcion de fosforo	51
c	Curva de absorcion de potasio	52
d	Curva de absorcion de calcio	54
e	Curva de absorcion de magnesio	55
f	Curva de absorcion de manganeso	57
g	Curva de absorcion de hierro	58
h	Curva de absorcion de cobre	60
i	Curva de absorcion de zinc	61
2 3	Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 106 11 en un suelo Inceptisol bajo condiciones de riego	63
a	Curva de absorcion de nitrogeno	63
b	Curva de absorcion de fosforo	65
c	Curva de absorcion de potasio	66
d	Curva de absorcion de calcio	68
e	Curva de absorcion de magnesio	69
f	Curva de absorcion de manganeso	71
g	Curva de absorcion de hierro	72
h	Curva de absorcion de cobre	74
i	Curva de absorcion de zinc	75
2 4	Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 137 11 en un suelo Inceptisol bajo condiciones de riego	77

a	Curva de absorcion de nitrogeno	77
b	Curva de absorcion de fosforo	79
c	Curva de absorcion de potasio	80
d	Curva de absorcion de calcio	82
e	Curva de absorcion de magnesio	83
f	Curva de absorcion de manganeso	85
g	Curva de absorcion de hierro	86
h	Curva de absorcion de cobre	88
i	Curva de absorcion de zinc	89
3	ETAPAS DE MAXIMA ABSORCION DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE ARROZ	91
3 1	Absorcion de nitrogeno	91
3 2	Absorcion de fosforo	92
3 3	Absorcion de potasio	93
3 4	Absorcion de calcio	94
3 5	Absorcion de magnesio	94
3 6	Absorcion de manganeso	95
3 7	Absorcion de hierro	96
3 8	Absorcion de cobre	97
3 9	Absorcion de zinc	98
4	CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE ARROZ	99
4 1	Dinamica del nitrogeno	100
4 2	Dinamica del fosforo	101
4 3	Dinamica del potasio	101
4 4	Dinamica del calcio	102
4 5	Dinamica del magnesio	103
4 6	Dinamica del manganeso	104
4 7	Dinamica del hierro	104
4 8	Dinamica del zinc	105
4 9	Dinamica del cobre	106
5	EXTRACCION DE NUTRIENTES POR DISTINTAS SECCIONES DE LA PLANTA DE ARROZ	107
IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
1	CONCLUSIONES	110
2	RECOMENDACIONES	110
V	BIBLIOGRAFIA	112

INDICE DE CUADROS

Cuadro I Características de las variedades de arroz utilizadas en el estudio de absorción de nutrientes (Fuente Adaptado de Camargo <i>et al</i> 2014)	22
Cuadro II Fertilidad de los suelos en las localidades del estudio de absorción (Fuente Laboratorio de Suelos IDIAP 2015)	23
Cuadro III Características físico químicas de los suelos en las localidades del estudio de absorción (Fuente Laboratorio de Suelos IDIAP 2015)	23
Cuadro IV Extracción de nutrientes según variedad y sistema de siembra	33
Cuadro V Ecuación de regresión y coeficiente de determinación por variedad y sistema de siembra para cada nutriente	33
Cuadro VI Extracción total de nutrientes por etapa fenológica para la variedad IDIAP FL 106 11 en un Entisol bajo condiciones de secano	34
Cuadro VII Extracción total de nutrientes por etapa fenológica para la variedad IDIAP FL 137 11 bajo condiciones de secano	49
Cuadro VIII Extracción total de nutrientes por etapa fenológica para la variedad IDIAP FL 106 11 bajo condiciones de riego	63
Cuadro IX Extracción total de nutrientes por etapa fenológica para la variedad IDIAP FL 137 11 bajo condiciones de riego	77
Cuadro X Concentración de nutrientes foliar y rangos de referencia para el cultivo del arroz	99
Cuadro XI Extracción de nutrientes/ha/tonelada de grano (limpio y seco) en distintas variedades de arroz	109

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización geográfica de los estudios de absorción de nutrientes para las variedades IDIAP FL 106 11 y la IDIAP FL 137 11 de acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1967) (Fuente Elaboración propia)	20
Figura 2 Etapas de muestreo para la confección de las curvas de absorción de nutrientes (Fuente Elaboración propia)	25
Figura 3 Proceso de recolección y procesamiento de muestras para determinar producción de biomasa seca total por hectarea	26
Figura 4 Determinación de nitrógeno foliar por el método Kjeldahl	27
Figura 5 Proceso de mineralización vía húmeda (Villarreal y Name 1996)	28
Figura 6 Producción de biomasa seca y rendimiento de grano en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego y secano	30
Figura 7 Producción de biomasa seca y rendimiento de grano en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego y secano	31
Figura 8 Curva de absorción de nitrógeno en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	35
Figura 9 Gráfica de regresión de la extracción de nitrógeno por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	36
Figura 10 Curva de absorción de fósforo en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	37
Figura 11 Gráfica de regresión de la extracción de fósforo por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	37
Figura 12 Curva de absorción de potasio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	38

Figura 13 Grafica de regresion de la extraccion de potasio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	39
Figura 14 Curva de absorcion de calcio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	40
Figura 15 Grafica de regresion de la extraccion de calcio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	40
Figura 16 Curva de absorcion de magnesio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	41
Figura 17 Grafica de regresion de la extraccion de magnesio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	42
Figura 18 Curva de absorcion de manganeso en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	43
Figura 19 Grafica de regresion de la extraccion de manganeso por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	43
Figura 20 Curva de absorcion de hierro en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	44
Figura 21 Grafica de regresion de la extraccion de hierro por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	45
Figura 22 Curva de absorcion de cobre en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	46
Figura 23 Grafica de regresion de la extraccion de cobre por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	46
Figura 24 Curva de absorcion de zinc en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	47
Figura 25 Grafica de regresion de la extraccion de zinc por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano	48
Figura 26 Curva de absorcion de nitrogeno en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	50
Figura 27 Grafica de regresion de la extraccion de nitrogeno por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	50

Figura 28	Curva de absorcion de fosforo en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	51
Figura 29	Grafica de regresion de la extraccion de fosforo por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	52
Figura 30	Curva de absorcion de potasio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	53
Figura 31	Grafica de regresion de la extraccion de potasio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	53
Figura 32	Curva de absorcion de calcio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	54
Figura 33	Grafica de regresion de la extraccion de calcio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	55
Figura 34	Curva de absorcion de magnesio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	56
Figura 35	Grafica de regresion de la extraccion de magnesio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	56
Figura 36	Curva de absorcion de manganeso en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	57
Figura 37	Grafica de regresion de la extraccion de manganeso por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	58
Figura 38	Curva de absorcion de hierro en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	59
Figura 39	Grafica de regresion de la extraccion de hierro por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	59
Figura 40	Curva de absorcion de cobre en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	60
Figura 41	Grafica de regresion de la extraccion de cobre por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	61
Figura 42	Curva de absorcion de zinc en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	62

Figura 43 Grafica de regresion de la extraccion de zinc por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano	62
Figura 44 Curva de absorcion de nitrogeno en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	64
Figura 45 Grafica de regresion de la extraccion de nitrogeno por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	64
Figura 46 Curva de absorcion de fosforo en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	65
Figura 47 Grafica de regresion de la extraccion de fosforo por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	66
Figura 48 Curva de absorcion de potasio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	67
Figura 49 Grafica de regresion de la extraccion de potasio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	67
Figura 50 Curva de absorcion de calcio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	68
Figura 51 Grafica de regresion de la extraccion de calcio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	69
Figura 52 Curva de absorcion de magnesio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	70
Figura 53 Grafica de regresion de la extraccion de magnesio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	70
Figura 54 Curva de absorcion de manganeso en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	71
Figura 55 Grafica de regresion de la extraccion de manganeso por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	72
Figura 56 Curva de absorcion de hierro en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	73
Figura 57 Grafica de regresion de la extraccion de hierro por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	73

Figura 58	Curva de absorcion de cobre en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	74
Figura 59	Grafica de regresion de la extraccion de cobre por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	75
Figura 60	Curva de absorcion de zinc en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	76
Figura 61	Grafica de regresion de la extraccion de zinc por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego	76
Figura 62	Curva de absorcion de nitrogeno en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	78
Figura 63	Grafica de regresion de la extraccion de nitrogeno por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	78
Figura 64	Curva de absorcion de fosforo en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	79
Figura 65	Grafica de regresion de la extraccion de fosforo por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	80
Figura 66	Curva de absorcion de potasio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	81
Figura 67	Grafica de regresion de la extraccion de potasio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	81
Figura 68	Curva de absorcion de calcio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	82
Figura 69	Grafica de regresion de la extraccion de calcio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	83
Figura 70	Curva de absorcion de magnesio en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	84
Figura 71	Grafica de regresion de la extraccion de magnesio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	84
Figura 72	Curva de absorcion de manganeso en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	85

Figura 73 Grafica de regresion de la extraccion de manganeso por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	86
Figura 74 Curva de absorcion de hierro en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	87
Figura 75 Grafica de regresion de la extraccion de hierro por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	87
Figura 76 Curva de absorcion de cobre en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	88
Figura 77 Grafica de regresion de la extraccion de cobre por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	89
Figura 78 Curva de absorcion de zinc en diferentes organos vegetativos por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	90
Figura 79 Grafica de regresion de la extraccion de zinc por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego	90
Figura 80 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de nitrogeno en el cultivo de arroz	91
Figura 81 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de fosforo en el cultivo de arroz	92
Figura 82 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de potasio en el cultivo de arroz	93
Figura 83 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de calcio en el cultivo de arroz	94
Figura 84 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de magnesio en el cultivo de arroz	95
Figura 85 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de manganeso en el cultivo de arroz	96
Figura 86 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de hierro en el cultivo de arroz	97
Figura 87 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de cobre en el cultivo de arroz	98

Figura 88 Extraccion relativa total y por etapa fenologica de zinc en el cultivo de arroz	99
Figura 89 Dinamica de la concentracion de nitrogeno durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	100
Figura 90 Dinamica de la concentracion de fosforo durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	101
Figura 91 Dinamica de la concentracion de potasio durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	102
Figura 92 Dinamica de la concentracion de calcio durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	103
Figura 93 Dinamica de la concentracion de magnesio durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	103
Figura 94 Dinamica de la concentracion de manganeso durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	104
Figura 95 Dinamica de la concentracion de hierro durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	105
Figura 96 Dinamica de la concentracion de zinc durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	106
Figura 97 Dinamica de la concentracion de zinc durante el desarrollo fenologico del cultivo de arroz	107
Figura 98 Extraccion relativa de nutrientes por distintas secciones del cultivo de arroz	108

CURVAS DE ABSORCION DE NUTRIENTES DE ARROZ EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO Y AMBIENTE AGROECOLOGICO

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la extraccion de macro y micro nutrientes de dos variedades de arroz segun etapa fenologica ambiente agroecologico y tipo de suelo se realizo un estudio en dos localidades con vocacion arroceras del pais bajo condiciones de riego y secano durante dos ciclos agricolas (2015 y 2016) Se utilizaron las variedades IDIAP FL 106 11 y la IDIAP FL 137 11 Las parcelas fueron de 100 m² para cada variedad con una densidad de siembra de 150 kg semilla ha⁻¹ Se realizaron muestreos cada 15 dias a partir de la germinacion con 4 replicas Las muestras se dividieron en raiz follaje y espiga y se determino la extraccion de nutrientes por seccion de la planta y etapa fenologica El analisis de regresion mostro diferencia altamente significativa en la absorcion de nutrientes por etapa fenologica con ajustes entre 66% y 99% dependiendo del nutriente sistema y variedad La IDIAP FL 106 11 produjo mayor cantidad de biomasa seca que la IDIAP 137 11 con rendimiento de grano similares (5.4 y 5.3 ton ha⁻¹ respectivamente) La IDIAP FL 106 11 extrajo mayor cantidad de nutrientes en riego que en secano mientras que la IDIAP FL 137 11 fue mas exigente en secano que en riego La IDIAP FL 106 11 resulto mas exigente en nutrientes que la IDIAP FL 137 11 El orden de extraccion promedio fue K>N>Ca>P>Mg>Mn>Fe>Zn>Cu La etapa fenologica de maxima extraccion para la mayoria de los nutrientes fue el embuchamiento La mayor proporcion relativa de cada nutriente se encuentra en el tallo a excepcion del Fe que tiene un 78% de su total en la raiz mientras que el P la mayor proporcion del total se concentra en la espiga (36%)

PALABRAS CLAVES Etapa fenologica extraccion nutrientes riego secano

ABSORPTION CURVES OF RICE NUTRIENTS IN DIFFERENT SOIL TYPES AND AGROECOLOGICAL ENVIRONMENT

ABSTRACT

With the objective of determining the extraction of macro and micro nutrients of two rice varieties according to phenological stage agroecological environment and soil type a study was conducted in two locations of the country's rice vocation under rainfed and irrigated conditions during two seasons (2015 and 2016). We used the varieties IDIAP FL 106 11 and IDIAP FL 137 11. The plots were of 100 m² for each variety with a planting seed density of 150 kg ha⁻¹. Samples were taken every 15 days from germination with 4 replicates. The samples were divided into root, foliage and spike, and it was determined the extraction of nutrients by section of the plant and phenological phase. The regression analysis showed highly significant difference in the absorption of nutrients by phenological stage, with settings between 66% and 99% depending on the nutrient, system and variety. The IDIAP FL 106 11 produced a greater amount of dry biomass than the IDIAP 137 11 with similar grain yield (5.4 and 5.3 ton ha⁻¹ respectively). The IDIAP FL 106 11 extracted more nutrients in irrigation than in rainfed, while the IDIAP FL 137 11 was more demanding in rainfed than in irrigation. The IDIAP FL 106 11 resulted more demanding in nutrients than IDIAP FL 137 11. The order of nutrients average extraction was K>N>Ca>P>Mg>Mn>Fe>Zn>Cu. The phenological stage of maximum extraction for most of the nutrients was the panicle development. The higher relative proportion of each nutrient was in the stem, except for Fe that has a 78% of the total in the root, while the P the greater proportion of the total is concentrated in the spike (36%).

KEY WORDS Phenological stage, extraction, nutrients, irrigation, rainfed.

INTRODUCCION

La produccion de arroz mecanizado en Panama para el año 2016 17 fue de 310 651 toneladas de arroz en cascara. Las hectareas sembradas fueron 65 275 y un rendimiento promedio de 4.7 toneladas por hectarea. El 85% de la produccion panameña de arroz se realiza en secano y el 15% con sistema de riego (MIDA 2017). Este bajo nivel de uso de riego dificulta la produccion porque la mayoría de los productores depende de las lluvias para obtener una buena cosecha y debido a la variabilidad climatica esto dificulta el buen manejo agronomico del cultivo (FAO 2013).

La investigacion en el cultivo de arroz en Panama se ha concentrado basicamente en el mejoramiento genetico para la obtencion de nuevas variedades. En este sentido el Instituto de Investigacion Agropecuaria de Panama (IDIAP), la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panama (FCA) y algunas empresas privadas como Semillas de Cocle S.A. (SECOSA) han generado variedades de arroz resistentes a enfermedades como la Piricularia y a plagas de importancia economica para el cultivo que han contribuido a incrementar la produccion y la productividad nacional. Logrando en un alto porcentaje el autoabastecimiento en este importante grano para la dieta del panameño así como la reduccion del costo de produccion y el uso de agroquimicos (Camargo *et al.* 2014).

El cultivo debe contar con los nutrientes adecuados en el momento oportuno lo que permite expresar el potencial de rendimiento de cada variedad. El manejo eficiente de

cualquier cultivo se basa en el conocimiento adecuado de las diferentes etapas de crecimiento durante su ciclo de vida. En el caso particular del manejo de la fertilización en arroz, es importante conocer cómo crece la planta y la dinámica de absorción de los nutrientes esenciales en las diversas etapas del ciclo del cultivo. Conociendo el comportamiento de la absorción de nutrientes, se pueden determinar los requerimientos totales de nutrientes del cultivo, el período de mayor demanda de los mismos en el ciclo, lo que permite orientar el momento óptimo para la aplicación de los fertilizantes (Herber y Kraemer 2010).

OBJETIVOS

1 Objetivo general

Generar informacion sobre la dinamica de absorcion de macro y micro nutrientes en el cultivo de arroz segun etapa fenologica ambiente agroecologico orden de suelo y sistema de cultivo

2 Objetivos especificos

- Determinar la extraccion de macro y micro nutrientes en la variedad IDIAP FL 106 11 en un suelo Entisol bajo condiciones de secano
- Determinar la extraccion de macro y micro nutrientes en la variedad IDIAP FL 137 11 en un suelo Entisol bajo condiciones de secano
- Determinar la extraccion de macro y micro nutrientes en la variedad IDIAP FL 106 11 en un suelo Inceptisol bajo condiciones de riego
- Determinar la extraccion de macro y micro nutrientes en la variedad IDIAP FL 137 11 en un suelo Inceptisol bajo condiciones de riego
- Determinar las etapas fenologicas de maxima absorcion segun la variedad para conocer la cantidad y el momento adecuado de aplicacion de los nutrientes

I REVISION DE LITERATURA

1 EL CULTIVO DE ARROZ EN PANAMA

El consumo de arroz per capita en Panama es de 68 kg por año mientras que el consumo mundial es 57 kg per capita al año (FAO 2013) Los panameños consumen proporcionalmente mas arroz que el resto del mundo El arroz es uno de los alimentos imprescindible en la dieta del panameño la produccion de arroz en relacion con la seguridad alimentaria representa un factor importante a nivel social politico y economico (Miranda 2013)

La produccion de arroz mecanizado en Panama para el año 2016 17 fue de 310 651 toneladas de arroz en cascara Las hectareas sembradas fueron 65 275 y un rendimiento promedio de 4 7 toneladas por hectarea La provincia de Los Santos para esa misma zafra sembro un total de 8 945 ha con una produccion de 42 589 toneladas y un rendimiento promedio de 4 8 t ha⁻¹ donde la mayoria de su produccion bajo el sistema de secano En la provincia de Coclé se sembraron unas 9 027 ha con una produccion de 43 886 toneladas y un rendimiento promedio de 4 9 t ha⁻¹ donde la produccion se da en los sistemas de secano y riego El 85% de la produccion panameña de arroz se realizo en secano y el 15% con sistema de riego (MIDA 2017) Este bajo nivel de uso de riego dificulta la produccion porque la mayoria de los productores depende de las lluvias para obtener una buena cosecha

y debido a la variabilidad climática esto dificulta el buen manejo agronómico del cultivo (FAO 2013)

2 CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES DE ARROZ GENERADAS POR IDIAP

En los 33 años de investigación en el mejoramiento genético de arroz en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) todas las variedades seleccionadas derivadas de las cruces nacionales del Proyecto de Mejoramiento Genético de Arroz del IDIAP y aquellas provenientes de los viveros del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y del International Rice Research Institute (IRRI) se caracterizan por ser de porte bajo ciclo precoz e intermedio buen rendimiento tolerantes a plagas enfermedades fúngicas y adaptadas a los sistemas mecanizado de secano favorecido y de riego. Estas variedades son seleccionadas después de varios ciclos de evaluaciones en las diversas zonas productoras de arroz lo cual garantiza su estabilidad y adaptabilidad en la producción (Camargo *et al* 2014)

Recientemente el IDIAP liberó dos nuevas variedades de arroz con alto potencial de rendimiento. La IDIAP FL 137 11 para la zafra 2016 17 fue sembrada en un total de 14 169 ha y la IDIAP FL 106 11 fue sembrada en 4 546 ha en la misma zafra (MIDA 2017)

Las características de las variedades fueron descritas por Quiros McIntire *et al* (2011)

IDIAP FL 137 11

Se caracteriza por ser de ciclo vegetativo precoz intermedio de 107 a 129 días después de la siembra (dds) en condiciones de secano y de 108 a 114 dds en condiciones de riego

Presenta un buen vigor inicial porte semienano y una altura que oscila entre 83 y 114 cm. La planta presenta tallos relativamente fuertes y flexibles que le proporcionan resistencia moderada al acame. un macollamiento que va de mediano a bueno (11 a 19 hijos). Sus nudos entrenudos y tallos son de color verde. las hojas varían de intermedias a semiabiertas ligeramente pubescentes de color verde. Las panículas son semicompactas con una longitud entre 22 y 30 cm y presentan un desgrane difícil. La exaración de la panícula es moderadamente emergida. El grano en cascara carece de arista es pubescente largo y delgado cuya longitud varía entre 8 y 11 mm y ancho entre 2 y 3 mm.

La variedad es tolerante a las principales enfermedades de importancia en el cultivo de arroz en Panamá. Los resultados de rendimiento son producto de los distintos ensayos realizados en todo el país en secano y riego por tres años consecutivos (2009-2011) sin el control de ninguna enfermedad por lo tanto expresa su comportamiento genético. En condiciones de secano la producción es de 4.2 t ha⁻¹ de arroz en cascara limpio y seco (14% humedad) mientras que para riego alcanza una producción de 4.3 t ha⁻¹. Esta variedad se comportó bien en todos los años de evaluación demostrando su buena estabilidad y una adaptabilidad amplia en todas las zonas arroceras del país.

La calidad industrial y culinaria es decisiva para fines de comercialización. IDIAP FL 137-11 presenta muy buenos porcentajes de rendimiento total de molinería (RT), granos enteros (GE) y centro blanco (CB) comparables con la variedad Oryzica1. Los valores presentados cumplen con las normas de COPANIT lo cual es confirmado con la presencia de un grano largo y delgado.

IDIAP FL 106-11

Se caracteriza por ser de ciclo vegetativo precoz de 108 a 122 días después de la siembra (dds) en condiciones de secano y de 106 a 118 dds en condiciones de riego. Presenta un buen vigor inicial, porte semienano y una altura que oscila entre 83 y 113 cm. La planta presenta tallos relativamente fuertes y flexibles que le proporcionan resistencia moderada al acame, un macollamiento que va de pobre a medio (7 a 15 hijos). Sus nudos, entrenudos y tallos son de color verde; las hojas varían de semiabiertas a erectas, ligeramente pubescentes de color verde. Las panículas son compactas, con una longitud entre 21 y 30 cm, y presentan un desgrane difícil. La exarista de la panícula es moderadamente emergida. El grano en cascara carece de arista, es pubescente, largo y delgado, cuya longitud varía entre 8 y 11 mm y un ancho entre 2 y 3 mm.

Esta variedad es tolerante a las principales enfermedades de importancia en el cultivo de arroz en Panamá. Los resultados de rendimiento son producto de los distintos ensayos realizados en todo el país, en secano y riego, por tres años consecutivos (2009-2011), sin el control de ninguna enfermedad, por lo tanto, expresa su comportamiento genético. En condiciones de secano, la producción es de 4.1 t ha⁻¹ de arroz en cascara limpio y seco (14% humedad), mientras que para riego alcanza una producción de 4.3 t ha⁻¹. Esta variedad se comportó bien en todos los años de evaluación, demostrando su buena estabilidad y una adaptabilidad amplia en todas las zonas arroceras del país.

La calidad industrial y culinaria es decisiva para fines de comercialización. IDIAP FL 106-11 presenta muy buenos porcentajes de rendimiento total de molinería (RT), granos enteros (GE) y centro blanco (CB), comparables con la variedad Oryzica1. Los valores

presentados cumplen con las normas de COPANIT lo cual es confirmado con la presencia de un grano largo y delgado

3 NUTRIENTES ESENCIALES Y SU FUNCION EN LA PLANTA

Los nutrientes son los elementos esenciales para el crecimiento de la planta la cual los toma del suelo o del agua (por irrigacion por inundacion o de las aguas subterraneeas) o en un medio hidropónico (FAO 1999) Los nutrientes minerales esenciales para las plantas son aquellos necesarios para la ocurrencia de un ciclo de vida completo involucrados en funciones metabólicas estructurales en las cuales no pueden ser sustituidos y cuya deficiencia se asocia a síntomas específicos aunque no inconfundibles (Gutierrez 1997)

De acuerdo con las investigaciones realizadas durante el siglo pasado en cultivos hidropónicos con la técnica del Nutriente Faltante existen mas de 100 elementos químicos en la naturaleza de los cuales solamente 17 se consideran esenciales para la vida de las plantas Como producto de estas experimentaciones diversos investigadores llegaron a la conclusión que sin estos elementos esenciales las plantas no pueden completar su ciclo de vida pues estos elementos están implicados directamente en funciones de crecimiento y reproducción y son vitales en la mayoría de las plantas para sobrevivir además que son esenciales porque no pueden ser reemplazados por otros elementos para suplir sus funciones De los elementos esenciales algunos se consideran no minerales debido a que son tomados por la planta principalmente a partir del aire o del agua Los otros nutrientes minerales se clasifican en macronutrientes y micronutrientes dependiendo de la concentración en las plantas (Barrera *et al* 2010)

Los macronutrientes primarios son el nitrógeno (N) el fósforo (P) y el potasio (K) los cuales son consumidos en cantidades relativamente grandes. Los macronutrientes secundarios son tomados en menores cantidades pero son esenciales para su crecimiento el calcio (Ca) el magnesio (Mg) y el azufre (S). Los micronutrientes o elementos traza son requeridos en cantidades muy pequeñas pero generalmente son importantes para el metabolismo vegetal. Estos son el hierro (Fe) el zinc (Zn) el manganeso (Mn) el boro (B) el cobre (Cu) el molibdeno (Mo) y el cloro (Cl). Además la presencia del sodio (Na) cobalto (Co) y silicio (Si) parece ser favorable para algunas especies vegetales pero no son considerados como nutrientes esenciales sino como beneficiosos (FAO 1999).

Otros autores (Mengel y Kirkby 1987) han propuesto una clasificación de los elementos esenciales relacionada con la función fisiológica de los mismos dentro de la planta teniendo en cuenta su desempeño bioquímico. Así se han definido cuatro grandes grupos: en el grupo 1 se encuentran los elementos que hacen parte de compuestos orgánicos como el N y S. En el grupo 2 aparecen los elementos que son importantes en el almacenamiento de energía o en la integridad estructural tales como el P Si y el B. En el grupo 3 los nutrientes que permanecen en su forma iónica como el K Ca Mg Cl Mn y el Na. Finalmente en el grupo 4 se tienen los elementos que están involucrados en reacciones de oxidación-reducción como el Fe Zn Cu Ni y Mo.

El nitrógeno es constituyente de cada uno de los aminoácidos es decir presente en cada proteína. También hace parte de la molécula de clorofila y de los ácidos nucleicos. El nitrógeno estimula el crecimiento de tallos y hojas. Además estimula la producción de proteínas en frutas y granos y ayuda a que la planta utilice otros nutrientes como fósforo y potasio (Kovacic *et al* 2007). Su principal forma de absorción por la planta es NO_3^- y

NH_4^+ Por su gran movilidad los primeros síntomas se observan en hojas maduras. Su deficiencia causa falta de poder turgor y cambios de color en las hojas, las cuales primero se tornan verde claro, luego presentan clorosis y finalmente mueren. Los sistemas radiculares se ven reducidos (Suzuki *et al* 2003). Otros síntomas que pueden presentarse son acumulación de compuestos fenólicos como flavonoides, antocianinas y cumarinas (Kovacic *et al* 2007).

El fósforo es un constituyente de coenzimas, ácidos nucleicos y sustratos metabólicos. Hace parte del nucleótido más importante en la obtención de energía celular, el ATP. Promueve el desarrollo radical y ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades. Absorbido principalmente en forma H_2PO_4 y HPO_4^{2-} , donde la forma monovalente abunda más en pH menores a 5 y la forma divalente predomina en pH más alcalinos. Es uno de los nutrientes más limitantes en el crecimiento y desarrollo de la planta junto con el Nitrógeno. Su deficiencia en hojas, tallos y peciolo maduros se observan de color verde oscuro o azulado o pueden ser morados. Las hojas pueden verse enrolladas. Las plantas tienen un desarrollo lento, la floración se demora, el sistema radical es pobre y las plantas son bastante susceptibles a infecciones (Xiang wen *et al* 2008).

El potasio es importante en la fotosíntesis, translocación de carbohidratos y síntesis de proteínas. Es un catalizador o activador de ciertas enzimas, participa en la osmorregulación y también en el mantenimiento del potencial de membrana (Pyo *et al* 2010). Implicado en el control del turgor de las células guarda estomáticas. Se absorbe como ion K^+ . En su ausencia inicialmente se observa en las hojas maduras clorosis marginal e intervenal, enrollamientos, hojas arrugadas y brotes muy cortos. En general, la planta con déficit de potasio se observa débil, con un sistema radical pobre y con muy baja tolerancia a

situaciones de estrés o ataques de enfermedades. La deficiencia estomática implica reducción de las tasas de transpiración e intercambio de gases (Gierth y Maser 2007)

El Calcio hace parte de las paredes celulares, tiene una función importante en la estructura y permeabilidad de las membranas. Es un activador de las enzimas amilasa y ATPasa. En árboles, el contenido de Calcio está relacionado con la calidad y resistencia de la madera. Absorbido como ion Ca^{2+} . Los síntomas de su deficiencia se observan inicialmente en hojas jóvenes dado su baja movilidad. En general, se observan meristemos apicales deformados, pequeños o sin crecimiento, las yemas en forma de gancho, los brotes del tallo o de flores se caen y en las hojas maduras se presenta clorosis marginal y pérdida de turgor (Littke y Zabowaki 2007)

El magnesio es el componente principal de la clorofila. Combinado con ATP o ADP actúa como activador de enzimas que usan los sustratos. Absorbido como ion Mg^{2+} . Cuando este elemento se encuentra en bajas concentraciones, la producción de clorofila disminuye, lo que se traduce en clorosis intervenal y finalmente necrosis. En las hojas maduras se presentan primero los síntomas, ellas se tornan quebradizas y enrolladas (Marschner 1995)

El azufre es parte integral de los aminoácidos cisteína y metionina. Constituye parte importante de los puentes disulfuro y por tanto de la conformación de la estructura de las proteínas. Absorbido como SO_4^{2-} . Un descenso en el contenido de azufre causa reducción en la síntesis de proteínas y de todas las moléculas que dependen de este elemento. Así, las hojas jóvenes presentan clorosis, las raíces y los tallos diámetros menores a los normales pero de mayor longitud. En general, un sistema radical débil pero invasivo y tallos rígidos y quebradizos (Marschner 1995)

El boro es importante en la translocación de azúcares y carbohidratos. Sus funciones principales se relacionan con el normal desarrollo de la pared celular, la división celular y el desarrollo de frutas y semillas. Absorbido como H_3BO_3 y H_2BO_3 . Su deficiencia causa tallos y peciolo quebradizos con crecimiento anormal y de color blanquecino. Las hojas jóvenes se presentan primero delgadas y curvadas. El programa reproductivo se ve retrasado o inhibido y si hay frutos, estos debido a la deficiencia se pudren con facilidad (Marschner 1995).

El cloro participa en la regulación de los procesos osmóticos de las plantas, asociado a los movimientos estomáticos y a la transmisión de impulsos eléctricos a través de estos (Muñiz 2008). Absorbido como ion Cl^- . Las hojas más maduras se vuelven cloróticas y finalmente necróticas con un área foliar reducida. Es común el marchitamiento y el atrofiamiento del crecimiento de la planta, además de una reducción en la tasa de transpiración (Marschner 1995).

El cobre está implicado en la síntesis de clorofila. Es constituyente de la plastocianina que funciona en la transferencia de electrones y de proteínas con actividad oxidasa. Está implicado en la síntesis de ADN y ARN. Absorbido como ion Cu^{2+} . Los síntomas de su deficiencia incluyen acortamiento de entrenudos, hojas nuevas que crecen atrofiadas, enanas o retorcidas, débiles y de color verde oscuro con puntos necróticos. El sistema radical también se presenta atrofiado y la floración y fructificación se reducen dramáticamente (Marschner 1995).

El hierro es un catalizador involucrado en la activación de enzimas necesarias en las reacciones de oxidación-reducción y transferencia de electrones y actúa como transportador de oxígeno. Además, actúa como cofactor en la síntesis de clorofila y en el correcto

funcionamiento de otras enzimas importantes como catalasa peroxidasa ferredoxina y citocromos. Absorbido como ion Fe^{2+} y Fe^{3+} . Los primeros síntomas incluyen clorosis intervenal y amarillamiento o blanqueamiento de las láminas foliares de las hojas jóvenes. En casos de deficiencia severa se observan manchas angulares café intervenales y en los márgenes de las hojas un color café oscuro con una apariencia de quemadura. Estos síntomas pueden presentarse en una rama o en la planta entera (Marschner 1995).

El manganeso está implicado en la activación de enzimas que son catalizadores importantes de la reducción de carbohidratos, formación de clorofilas y síntesis de DNA y RNA. Está directamente implicado en la producción de oxígeno durante la fotosíntesis. Absorbido como ion Mn^{2+} . En deficiencia la clorosis intervenal es evidente y similar a la observada en deficiencia de magnesio, zinc o hierro. En casos severos se presentan puntos necróticos y caída de hojas; la formación de flores se reduce o se detiene (Shenker *et al* 2004).

El molibdeno está implicado en la fijación de nitrógeno en la transformación de nitrato a amonio y en el metabolismo de carbohidratos. Absorbido como MoO_4^{2-} . La clorosis intervenal que se presenta por esta deficiencia suele confundirse con la producida por bajos niveles de nitrógeno; adicionalmente se observan manchas y algunas veces enrollamientos en los bordes de las hojas (Marschner 1995).

El zinc es un activador de enzimas que están implicadas en la regulación de varios procesos metabólicos como la síntesis de DNA, RNA, proteínas, algunas hormonas. Absorbido como ion Zn^{2+} . En general los síntomas incluyen un crecimiento atrofiado y acortamiento de entrenudos. Las hojas se tornan amarillas o café, típicamente otoñales y con menor área foliar. El sistema radical presenta anomalías, así como los tallos. Las

deficiencias de Zn pueden inducir elevados niveles de fosforo nitrógeno cobre o hierro (Kalaycia *et al* 1999)

4 LA ABSORCION DE NUTRIENTES Y SU IMPORTANCIA EN LA FERTILIZACION

La importancia de determinar épocas de aplicación de fertilizantes de acuerdo a etapas de máxima absorción así como (en forma aproximada) la cantidad total de nutrientes que la planta requiere para su desarrollo (Magnifico *et al* 1979) radica en que ayudan a desarrollar prácticas adecuadas para mejorar el crecimiento integral de la planta mediante la aplicación de los nutrientes en cantidades y proporciones adecuadas para optimizar la producción sin degradar los recursos naturales (Baligar y Fageira 2007)

Dentro del uso de insumos en el cultivo del arroz la fertilización constituye un factor importante en la obtención de altos rendimientos. La respuesta a la fertilización depende de la variedad, la fertilidad del suelo, el clima, el manejo del agua y del control de plagas y enfermedades (Molina y Rodríguez 2012)

La información sobre la absorción de nutrientes por los cultivos durante el ciclo de producción es un excelente apoyo en la planificación y ajuste de las recomendaciones de fertilización. Esta información no es una herramienta de diagnóstico como lo son el análisis de suelo y el análisis foliar, pero sirve de sustento y da solidez a las recomendaciones de fertilización, pues permite conocer la cantidad de nutrientes absorbidos por el cultivo para producir un rendimiento dado en un tiempo definido. Además, permite conocer la dinámica de absorción de nutrientes durante el ciclo del cultivo (INPOFOS 2004)

Conociendo el consumo total de nutrientes de un cultivo lo primero que se puede hacer es estimar la dosis de nutrientes necesarios para obtener un rendimiento dado. Esto se logra confrontando el consumo total con las cantidades presentes en el suelo para determinar las cantidades de nutrientes necesarios para llegar a la meta de rendimiento establecida (Ramirez y Bertsch 2002)

Un estudio de absorción es un buen punto de partida para estimar la cantidad de nutrientes que se debe reponer al campo para mantener la fertilidad. Luego con los datos de producción de biomasa por semana, mes o año se puede planificar la forma y época de efectuar las restituciones. Es obvio que si desea mantener la sostenibilidad del sistema debe al menos reponerse al suelo las mismas cantidades de nutrientes que salen directamente del campo en la biomasa del cultivo (Bertsch 2005)

Para poder hacer las curvas de absorción de nutrientes hay que generar en forma previa la curva de crecimiento de cultivo en términos de peso seco. Esta información, pese a ser tan básica, no existe para muchos cultivos. Lo importante de esta curva es que se pueden establecer las principales etapas fenológicas del cultivo y la participación de cada tejido en ellas (Ramirez *et al* 2000)

Cuando se expresan en términos porcentuales las cantidades de nutrientes absorbidas por las plantas durante el ciclo de cultivo (utilizando el consumo máximo como el 100%) se puede observar claramente cuando ocurren los momentos de máxima absorción. Con esta información se puede determinar las épocas oportunas para entrega de nutrientes durante el ciclo de cultivo (Bertsch 2005). Esta información es valiosa en cultivos extensivos ya sea de riego o de secano, particularmente para el manejo del nitrógeno (N). Este elemento es muy dinámico en el suelo y por esta razón es necesario fraccionar las

aplicaciones al cultivo para evitar pérdidas. El encontrar épocas adecuadas para la aplicación fraccionada de N ha sido siempre un problema para los productores y técnicos porque la dinámica de absorción de N cambia con el cultivar y aun con las variedades e híbridos del mismo cultivar (Ramírez y Bertsch 2002, Bertsch 2005).

Con las curvas de absorción de nutrientes es posible detectar en cuál tejido se acumula preferentemente un nutriente y con esta información se puede determinar si este nutriente saldrá del sistema con el producto cosechado o tendrá posibilidades de reciclarse en el sistema (Bertsch 2005).

Es posible identificar el comportamiento de translocación de un nutriente cuando la curva de acumulación de este decrece de un tejido mientras que continúa incrementándose en otro tejido. Se puede hacer una dinámica de estos nutrientes debido a sus concentraciones en la planta a lo largo de su ciclo de vida. Trabajos realizados por Name y Villarreal (2004) en arroz demostraron que la tendencia del N foliar es disminuir su concentración a medida que avanza su desarrollo vegetativo y aumenta su contenido en el grano.

5 EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR EL CULTIVO DE ARROZ

Para que una variedad de arroz exprese todo su potencial de producción es necesario proporcionarle todas las condiciones apropiadas para su desarrollo en las que se destaca un buen manejo de la fertilidad. El contenido de diversos elementos en la planta durante las etapas fenológicas del cultivo es afectado por el contenido de nutrientes en el suelo, la dosis, la fuente y las clases de los fertilizantes aplicados, las variedades empleadas y los sistemas de cultivos utilizados (Name y Villarreal 2004).

Una curva de absorcion de nutrientes es la representacion grafica de la extraccion de un nutriente y representa las cantidades de este elemento extraidas por la planta durante su ciclo de vida (Sancho 1999)

En Panama Name y Villarreal (2004) estudiaron curvas de absorcion en arroz de las variedades VIOAL 3189 y en IDIAP L 7 bajo sistema de riego complementario en un suelo Ultisol encontrando que bajo el mismo manejo ambas variedades mostraron extracciones muy distintas para cada elemento Determinaron extracciones totales de 170 kg ha⁻¹ de N 15 kg ha⁻¹ de P 223 kg ha⁻¹ de K 15 kg ha⁻¹ de Ca y 12 kg ha⁻¹ de Mg para la variedad VIOAL 3189 mientras que para la variedad IDIAP L 7 las extracciones fueron de 238 kg ha⁻¹ de N 17 kg ha⁻¹ de P 751 kg ha⁻¹ de K 43 kg ha⁻¹ de Ca y 26 kg ha⁻¹ de Mg demostrando ser una variedad mucho mas exigente en nutrientes

Herber y Kraemer (2010) determinaron la curva de absorcion de nutrientes de cinco variedades de arroz bajo riego en Argentina encontrando similitud en la absorcion de algunas variedades y diferencia entre otras aun bajo el mismo manejo agronomico

En Costa Rica encontraron que la absorcion total en el cultivo de arroz para la variedad CFX 18 en un suelo Inceptisol bajo el sistema de riego por inundacion fue de 61 kg ha⁻¹ de N 25 kg ha⁻¹ de P 197 kg ha⁻¹ de K 17 kg ha⁻¹ de Ca 11 kg ha⁻¹ de Mg y 9 kg ha⁻¹ de S (Molina y Rodriguez 2012)

En Nicaragua se estudio la absorcion de nutrientes en el cultivo del arroz variedad Venezuela 21 en un suelo tipo Vertisol bajo condiciones de riego bajo inundacion y se encontro que esta variedad extrae 304 kg ha⁻¹ de N 71 kg ha⁻¹ de P 559 kg ha⁻¹ de K 56 kg ha⁻¹ de Ca 49 kg ha⁻¹ de Mg y 28 kg ha⁻¹ de S (Amador y Bernal 2012)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El estudio se llevó a cabo en dos localidades con vocación arroceras en la región pacífico central del país durante dos años en los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17 (Figura 1).



Figura 1. Localización geográfica de los estudios de absorción de nutrientes para las variedades IDIAP FL 106-11 y la IDIAP FL 137-11 de acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1967). (Fuente: Elaboración propia.)

Parte del estudio desarrollado bajo el sistema de siembra en secano se realizó en los terrenos del Instituto Profesional Técnico Agropecuario de Tonosí (IPTAT) ubicado en el corregimiento de El Cacao Distrito de Tonosí Provincia de Los Santos entre los 7°26' 03" de latitud Norte y los 80°24' 37" longitud Oeste. Los suelos fueron clasificados como Typic Udifluvents textura franca con régimen de humedad Udico régimen de temperatura Isohipertermico (MIDA 2015) y dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Humedo Tropical según Holdridge (ANAM 2011).

El segundo escenario utilizando el sistema de riego complementario se desarrolló en el Campo Experimental del Sub Centro Pacífico Marciaga en el corregimiento de El Coco distrito de Penonomé provincia de Coclé perteneciente al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Esta área de llanuras corresponde al bosque seco tropical según Holdridge (ANAM 2011) ubicado entre 8°25' 00" de latitud Norte y 80°21' 10" longitud Oeste. El suelo es fino mezclado de textura franco arcillo arenosa clasificado como Aeric Tropaquept con un régimen de humedad Ustico y un régimen de temperatura Isohipertermico (Jaramillo 1991).

2 MATERIAL GENÉTICO

El material genético utilizado en el experimento fueron dos variedades liberadas por IDIAP que son la IDIAP FL 106 11 y la IDIAP FL 137 11 cuyas características se presentan en el Cuadro I.

Cuadro I Características de las variedades de arroz utilizadas en el estudio de absorción de nutrientes (Fuente Adaptado de Camargo *et al* 2014)

Variedad	MM	IP <i>Días después de siembra</i>	flor	Mat	Rend <i>kg ha⁻¹</i>
IDIAP FL 106 11	45	53	84	115	5083
IDIAP FL 137 11	47	57	87	118	5122

MM= máximo macollamiento IP= inicio de primordio flor= floración Mat= maduración Rend= rendimiento

3 CARACTERÍSTICAS EDAFICAS

Se realizó un muestreo de suelos antes de la siembra del experimento a una profundidad de 30 cm (capa arable) tomando sub muestras las cuales se mezclaron para sacar una muestra homogénea en cada localidad para determinar sus características físicoquímicas según la metodología descrita por Villarreal y Name (1996)

El suelo de Tonosí (Cuadro II) en cuanto a contenido de nutrientes y según los niveles críticos establecidos por el Laboratorio de Suelos del IDIAP (Villarreal y Name 1996) presenta niveles altos de potasio (K) calcio (Ca) magnesio (Mg) y de hierro (Fe) niveles medios de fósforo (P) manganeso (Mn) y de cobre (Cu) además unos niveles bajos de aluminio (Al) y zinc (Zn) En cuanto a sus características físico químicas (Cuadro III) presenta una textura Franca con una coloración en seco pardo amarillo claro pH poco ácido una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) media con una baja saturación de aluminio y una elevada saturación de bases la cual está dominada por la saturación de calcio (70 8%) y un nivel medio de materia orgánica

Cuadro II Fertilidad de los suelos en las localidades del estudio de absorcion (Fuente Laboratorio de Suelos, IDIAP 2015)

Localidad	P <i>mg l⁻¹</i>	K <i>mg l⁻¹</i>	Ca <i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>	Mg <i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>	Al <i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>	Mn <i>mg l⁻¹</i>	Fe <i>mg l⁻¹</i>	Zn <i>mg l⁻¹</i>	Cu <i>mg l⁻¹</i>
El Cacao	37 0	215 0	25 4	9 7	0 2	36 1	82 0	2 9	5 5
El Coco	4 0	77 0	2 1	1 2	0 2	55 0	22 0	0 5	1 0

El suelo de Penonome en cuanto a contenido de nutrientes (Cuadro II) presenta niveles altos de Mn niveles medios de K y Mg ademas unos niveles bajos de P Ca Al Fe Zn y Cu En cuanto a sus características físico químicas (Cuadro III) presenta una textura Franco arenosa con una coloración en seco Pardo amarillento pH muy ácido una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) baja con una saturación de aluminio baja y una saturación de bases alta la cual está dominada por la saturación de Ca (55 7%) y Mg (33 5%) ademas de un nivel de materia orgánica bajo

Cuadro III Características físico químicas de los suelos en las localidades del estudio de absorcion (Fuente Laboratorio de Suelos, IDIAP 2015)

Localidad	Textura	color	CICE <i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>	pH	Al <i>% saturacion</i>	bases <i>% saturacion</i>	M O <i>%</i>
El Cacao	FRA	Pardo A C	35 8	6 3	0 56	99 44	4 26
El Coco	FA	Pardo A	3 7	4 9	5 41	94 59	0 76

4 ARREGLO EN CAMPO Y MANEJO

El ensayo se realizó en ambos ciclos agrícolas de agosto a diciembre en la localidad de El Cacao en el sistema de secano y de septiembre a enero en la localidad de El Coco en el sistema de riego suplementario

Se utilizaron parcelas de 100 m² para cada variedad (10 m x 10 m) en cada una de las localidades la siembra se realizó en hileras separadas a 0 20 m entre ellas y una densidad

de siembra de 150 kg semilla ha⁻¹. Se utilizó una fertilización básica de 120 kg N ha⁻¹, 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 80 kg K₂O ha⁻¹, en donde el total del P y K fue aplicado al momento de la siembra y el N se fraccionó a los 30, 45 y 55 días después de la siembra (Urea 46%).

El manejo agronómico en cuanto a manejo de maleza, plagas y enfermedades se realizó de acuerdo con las tecnologías generadas por el IDIAP (Camargo *et al.* 2014).

La cosecha se realizó cuando ambas variedades alcanzaron la madurez fisiológica con una humedad de grano de 25%, se limpió y secó para luego determinar el rendimiento de grano limpio y seco (14% humedad).

5 MUESTREO EN CAMPO

Los muestreos de campo para la elaboración de las curvas de absorción se realizaron siguiendo la metodología descrita por Ramírez y Bertsch (1998), Sancho (1999) y Bertsch (2009). Se realizaron muestreos cada 15 días, asegurando que coincidan con las etapas fenológicas más importantes del cultivo de arroz (Figura 2). En cada etapa de muestreo se realizaron 4 replicas; en cada replica se utilizó un marco de 0,25 m x 0,25 m. Las muestras se dividieron en raíz, follaje y en granos para determinar la extracción de nutrientes en cada una de ellas.

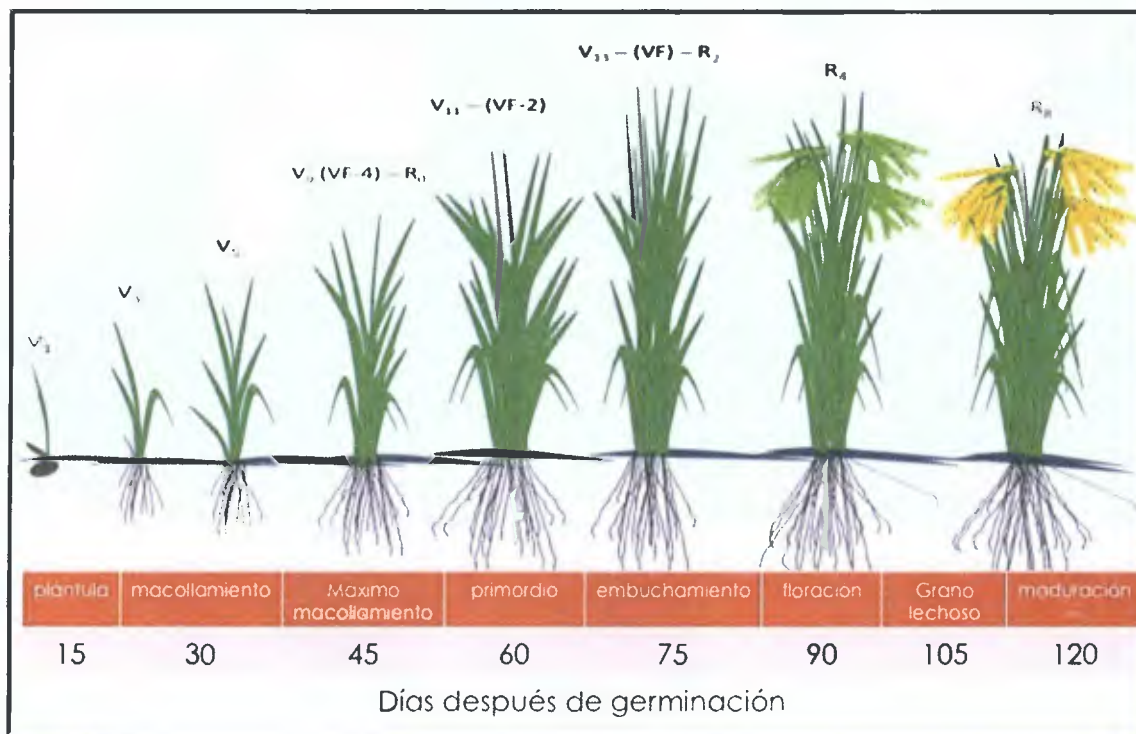


Figura 2. Etapas de muestreo para la confección de las curvas de absorción de nutrientes. (Fuente: Elaboración propia).

Se pesaron las muestras húmedas, luego se llevaron al horno a 70°C por 48 horas y se tomó el peso seco para calcular la producción de biomasa seca total por hectárea. Las muestras secas fueron llevadas al laboratorio de suelos del IDIAP para determinar el contenido de nutrientes según la metodología descrita por Villarreal y Name (1996) y Wilcox y Rivera (2010). Para el rendimiento de grano se utilizó un marco de 1 m², se limpió, peso y probó humedad y se calculó el rendimiento de grano limpio y seco al 14% de humedad (Figura 3).



Figura 3. Proceso de recolección y procesamiento de muestras para determinar producción de biomasa seca total por hectárea.

6. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras secas fueron molidas y pasadas por un tamiz N° 20 (1 mm de abertura en la malla), luego fueron guardadas en sobres de papel a temperatura ambiente.

Determinación de Nitrógeno: Se utilizó el método Kjeldahl, donde se pesó 1 g de muestra, agregando 4 g de catalizador más 13 ml de ácido sulfúrico concentrado (96-98%), luego se pone a digerir por 60 minutos a 420°C con 75 ml de agua destilada y 50 ml de hidróxido

de sodio (30%), recogiendo el destilado en 30 ml de ácido bórico (4%) con indicador por unos 5 minutos, para después titular con ácido clorhídrico 0.2 N (Figura 4).



Figura 4. Determinación de nitrógeno foliar por el método Kjeldahl.

Para determinar el Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Manganeso, Hierro, Zinc y Cobre, se utilizó el proceso de mineralización vía húmeda descrita por Villarreal y Name (1996).

Mineralización vía húmeda: se toman 0.5 g de la muestra molida y se coloca en un volumétrico de 50 ml, luego se le colocan de 10-15 perlas de ebullición y se añaden 15 ml de la solución A (metanol, ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno al 30%), luego se ponen a digerir a 250°C en una cámara de extracción de gases hasta que la muestra se torne oscura, luego se agregan 5 ml de la solución B (Metanol y peróxido de hidrógeno al 30%) hasta que la muestra se torne oscura nuevamente, luego se afora a 50 ml con agua

destilada, se le aplica carbón activado para aclarar la muestra, se agita y filtra, finalmente se guarda el extracto bajo refrigeración (Figura 5).



Figura 5. Proceso de mineralización vía húmeda (Villarreal y Name 1996).

Determinación de fósforo: del extracto digerido por la mineralización vía húmeda, se toman 5 ml y se agregan 25 ml de agua destilada, luego de esa dilución se toma una alícuota de 2.5 ml y se agregan 14.5 ml de la solución de color con molibdato de amonio, se esperan 30 minutos y se lee en el espectrofotómetro de luz UV a 680 nm.

Determinación de calcio y magnesio: del extracto digerido por la mineralización vía húmeda se toman 2 ml, se le agregan 10 ml de una solución de óxido de lantano al 1% y 8 ml de agua destilada y se lee en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Determinacion de potasio, cobre, hierro, manganeso y zinc en el extracto digerido por la mineralizacion via humeda se lee directamente la concentracion en el espectrofotometro de absorcion atomica

7 ANALISIS ESTADISTICO

Se realizo un analisis de regresion potencial para cada nutriente en cada variedad y cada sistema de siembra para determinar la extraccion de cada elemento en cualquier etapa fenologica del cultivo

$$y = A * x^b$$

Donde

Y = absorcion de nutriente

A = pendiente de la curva

b = intercepto de la curva

x = variable independiente (etapa de muestreo)

8 VARIABLES DE ESTUDIO

Para cada variedad en cada sistema de manejo se determinaron las siguientes variables

- Contenido de macro y micronutrientes en el suelo
- Contenido foliar de macro y micronutrientes por etapa fenologica en raiz follaje y panícula
- Extraccion de nutrientes por etapa fenologica por ha (raiz follaje y panícula)
- Extraccion de nutrientes total por ha (raiz follaje y panícula)
- Extraccion total de nutrientes por ha (raiz+follaje+panícula)
- Peso humedo peso seco y biomasa seca total por ha
- Rendimiento de grano al 14% humedad

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE GRANO

La producción de materia seca en las variedades IDIAP FL 106-11 y la IDIAP FL 137-11 muestran la misma tendencia tanto en condiciones de riego, como en secano, con un aumento paulatino hasta los 45 días después de germinado (máximo macollamiento) y luego se dispara de manera exponencial hasta los 90 días después de germinado (floración), luego allí se mantiene la producción de biomasa seca o puede tener un pequeño declive, producto de la senescencia de las hojas viejas de la planta (Figura 6 y 7).

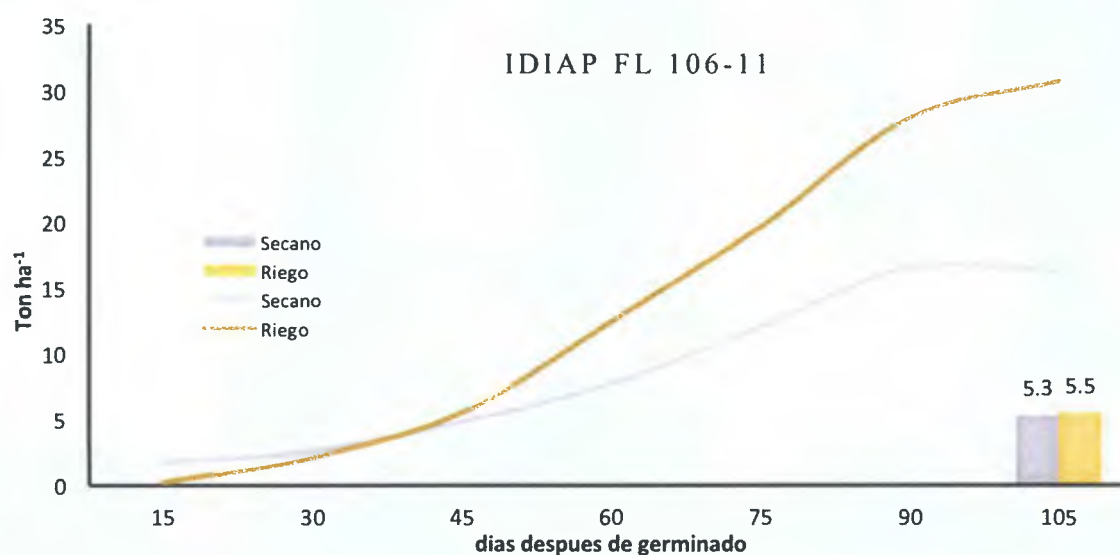


Figura 6. Producción de biomasa seca y rendimiento de grano en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego y secano.

La variedad IDIAP FL 106-11 mostro una producción total de 30.7 ton ha⁻¹ de materia seca en el sistema de riego, 14.2 ton ha⁻¹ más que en el sistema de secano (16.5 ton ha⁻¹). Sin embargo, esta diferencia no se observó en la producción de grano, donde se obtuvieron rendimientos muy similares en ambos sistemas con 5.5 y 5.3 ton ha⁻¹ de grano limpio y seco (14% humedad), en los sistemas de riego y secano respectivamente (Figura 6 y 7).

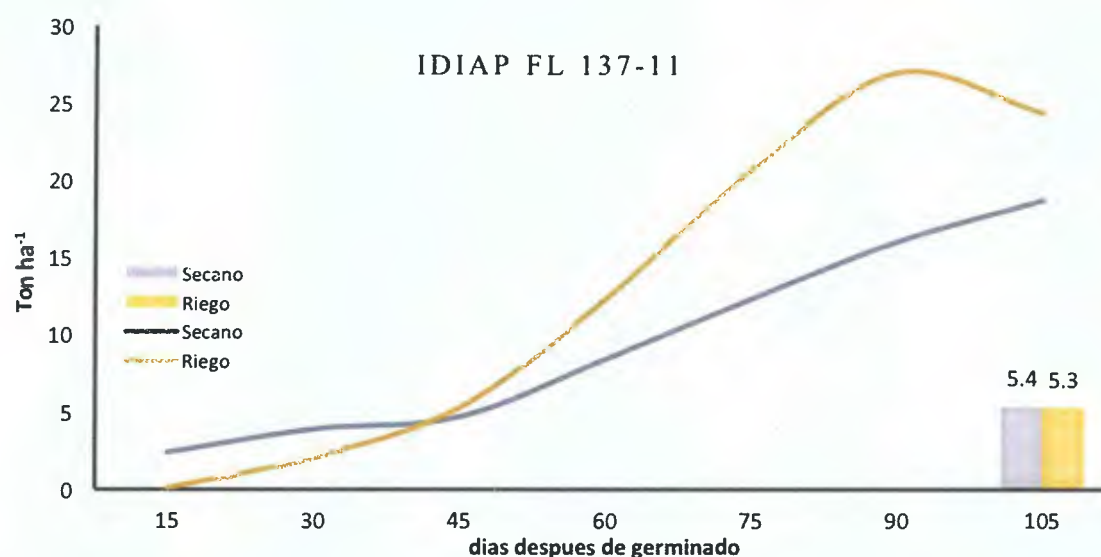


Figura 7. Producción de biomasa seca y rendimiento de grano en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego y secano.

La variedad IDIAP FL 137-11 alcanzó una producción de 27 ton ha⁻¹ de materia seca en el sistema de riego y 18.7 ton ha⁻¹ en condiciones de secano, en donde al igual que en la IDIAP FL 106-11, se produjo mayor biomasa seca en el sistema de riego (8.3 ton ha⁻¹ más). La producción de grano limpio y seco fue similar en ambos sistemas, con 5.4 ton ha⁻¹ bajo secano y 5.3 ton ha⁻¹ bajo riego (Figura 6 y 7).

2 CURVAS DE ABSORCION DE NUTRIENTES

La extraccion total de nutrientes expresada en kilogramos por hectarea para las variedades evaluadas en cada sistema de cultivo se presentan en el Cuadro IV. En el suelo Inceptisol bajo condiciones de riego la extraccion de nutrientes (promedio de ambas variedades) fue mayor a la extraccion de nutrientes en el suelo Entisol en condiciones de secano. La humedad del suelo favorece el desarrollo vegetativo del arroz ya que las plantas solo pueden extraer los nutrientes si estan disueltos en agua lo que explica la mayor absorcion de nutrientes en el suelo Inceptisol aun cuando su fertilidad natural sea menor a la del Entisol.

La IDIAP FL 106 11 fue mas exigente en N y K que la IDIAP FL 137 11 pero ambas variedades presentaron valores de extraccion similares en los demas nutrientes a excepcion del Ca donde fue mayor la extraccion por la variedad IDIAP FL 137 11.

Las variedades mostraron distinto comportamiento en la extraccion de nutrientes segun el sistema y tipo de suelo. En el suelo Entisol bajo condiciones de secano la variedad Idiap FL 106 11 es mas exigente en P y Mg que la Idiap FL 137 11 la cual presenta mayor extraccion de N, K, Ca, Mn, Zn y Cu y ambas presentaron igual extraccion en Fe. En el suelo Inceptisol bajo el sistema de riego la Variedad Idiap FL 106 11 extrae mayor cantidad de N, K, Mn, Zn y Cu que la Idiap FL 137 11 la cual extrajo mayor cantidad de P, Ca, Mg y Fe.

Cuadro IV Extraccion de nutrientes segun variedad y sistema de siembra

Sistema	Variedad	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
kg ha ⁻¹										
secano	Idiap FL 106 11	206	48	248	98	21	0 7	2 7	0 8	0 2
riego		298	61	360	159	16	6 7	4 8	1 4	0 4
secano	Idiap FL 137 11	233	44	286	129	19	1 6	2 7	1 2	0 4
riego		196	69	213	173	21	6 1	6 0	1 2	0 3
media	Riego	247	65	286	166	19	6 4	5 4	1 3	0 3
	Secano	219	46	267	114	20	1 1	2 7	1 0	0 3
	Idiap FL 106 11	252	55	304	128	19	3 7	3 8	1 1	0 3
	Idiap FL 137 11	214	56	250	151	20	3 9	4 3	1 2	0 4
	promedio	233	56	277	140	19	3 8	4 0	1 1	0 3

Cuadro V Ecuacion de regresion y coeficiente de determinacion por variedad y sistema de siembra para cada nutriente

Nutriente	IDIAP FL 106 11		IDIAP FL 137 11	
	secano	Riego	secano	riego
<i>N</i>	$y = 0.2686x^{1.4667}$ $R^2 = 0.8837$	$y = 0.0658x^{1.8964}$ $R^2 = 0.9102$	$y = 2.2561x^{0.9867}$ $R^2 = 0.9008$	$y = 0.0513x^{1.8669}$ $R^2 = 0.7544$
<i>P</i>	$y = 0.0062x^{1.9684}$ $R^2 = 0.8857$	$y = 0.0016x^{3.454}$ $R^2 = 0.9689$	$y = 0.2193x^{1.1412}$ $R^2 = 0.8982$	$y = 0.0026x^{2.2338}$ $R^2 = 0.9684$
<i>K</i>	$y = 0.097x^{1.7442}$ $R^2 = 0.8226$	$y = 0.0692x^{1.9273}$ $R^2 = 0.8673$	$y = 1.6421x^{1.079}$ $R^2 = 0.8171$	$y = 0.0608x^{1.842}$ $R^2 = 0.7117$
<i>Ca</i>	$y = 0.156x^{1.4098}$ $R = 0.9824$	$y = 0.0019x^{3.06}$ $R^2 = 0.9839$	$y = 0.3749x^{1.2218}$ $R^2 = 0.9514$	$y = 0.0003x^{3.031}$ $R = 0.9349$
<i>Mg</i>	$y = 0.0017x^{2.098}$ $R^2 = 0.8689$	$y = 0.0027x^{1.8837}$ $R^2 = 0.8189$	$y = 0.0522x^{1.2757}$ $R^2 = 0.9737$	$y = 2E-06x^{3.594}$ $R^2 = 0.9603$
<i>Mn</i>	$y = 0.0031x^{1.1269}$ $R^2 = 0.9519$	$y = 6E-05x^{2.355}$ $R = 0.9805$	$y = 0.0064x^{1.0993}$ $R^2 = 0.8525$	$y = 2E-05x^{1.8176}$ $R^2 = 0.9499$
<i>Fe</i>	$y = 0.0155x^{0.9887}$ $R^2 = 0.6732$	$y = 1E-04x^{3.64}$ $R^2 = 0.9836$	$y = 0.0355x^{0.8346}$ $R^2 = 0.6613$	$y = 6E-05x^{2.4876}$ $R^2 = 0.8964$
<i>Zn</i>	$y = 0.0083x^{0.9628}$ $R = 0.9317$	$y = 2E-05x^{2.531}$ $R^2 = 0.9092$	$y = 0.0074x^{0.9687}$ $R^2 = 0.7681$	$y = 6E-06x^{7.408}$ $R^2 = 0.9177$
<i>Cu</i>	$y = 0.0008x^{1.1867}$ $R^2 = 0.9183$	$y = 5E-06x^{4.677}$ $R^2 = 0.9768$	$y = 0.0012x^{1.2309}$ $R^2 = 0.7808$	$y = 0.0002x^{1.583}$ $R^2 = 0.8849$

Diferencia altamente significativa Diferencia significativa ns no existe diferencia significativa y absorcion de nutriente x etapa fenologica de muestreo

El analisis de regresion (Cuadro V) muestra que la ecuacion potencial es la que mejor se ajusta a la tendencia de los datos explicando mejor la correlacion entre la edad de cultivo y la extraccion de nutrientes en ambas variedades y en los dos sistemas de siembra. Existe

diferencia altamente significativa en la extraccion de nutrientes entre las distintas etapas fenologicas del cultivo para las dos variedades en los dos sistemas de siembra. Los coeficientes de determinacion o R^2 del modelo de regresion presentaron ajustes entre 67 y 98%. El R^2 mide la proporcion de la variabilidad en los datos de la variable dependiente o Y (absorcion de nutrientes) con respecto a la variable independiente o X (fenologia del cultivo) que es explicada por el modelo de regresion (Gutierrez y De La Vara 2013).

2.1 Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 106 11 en un suelo Entisol bajo condiciones de secano

Los valores de extraccion total de nutrientes en las distintas etapas fenologicas del cultivo para la variedad IDIAP FL 106 11 bajo condiciones de secano se presentan en el Cuadro VII los cuales son resultados medios provenientes de dos ciclos de cultivo. La absorcion de nutrientes por la planta va aumentando en todo el ciclo vegetativo debido a su estrecha correlacion con la produccion de biomasa seca total.

Cuadro VII Extraccion total de nutrientes por etapa fenologica para la variedad IDIAP FL 106 11 en un Entisol bajo condiciones de secano

Sistema	Variedad	ddg	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
			kg ha ⁻¹								
secano	IDIAP FL 106 11	15	9.2	0.7	5.3	7.2	0.2	0.07	0.30	0.12	0.03
		30	57.2	8.8	76.3	16.7	4.7	0.14	0.32	0.21	0.03
		45	102.8	13.5	122.2	33.5	6.8	0.19	0.44	0.27	0.07
		60	105.5	25.8	119.2	57.1	12.4	0.28	1.43	0.41	0.10
		75	206.0	48.4	247.5	74.8	16.3	0.37	0.77	0.66	0.15
		90	177.6	28.9	212.4	97.9	20.7	0.68	2.68	0.79	0.22
		105	154.3	35.5	172.1	89.2	14.7	0.56	1.12	0.59	0.18

a. Curva de absorción de nitrógeno

La absorción de nitrógeno (Figura 8), va en incremento desde el inicio hasta llegado los 45 días después de germinado (ddg), donde alcanza valores de 102.8 kg ha^{-1} , coincidiendo con la etapa de máximo macollamiento, luego se mantiene estable hasta los 60 ddg, donde inicia el primordio floral, de allí se dispara alcanzando un pico de 206 kg ha^{-1} por los 75 días donde está el embuchamiento y decrece un al llegar la maduración del cultivo. Se observa que la absorción por la raíz se mantiene prácticamente constante a lo largo del ciclo de cultivo. La absorción por el follaje decrece al llegar a los 75 ddg donde está el embuchamiento, mientras en el grano va aumentando, llegando a acumular en ellos hasta 60 kg ha^{-1} , indicando la gran movilidad del N hacia la panícula.

La extracción de nitrógeno por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 88% en la ecuación de regresión (Figura 9).

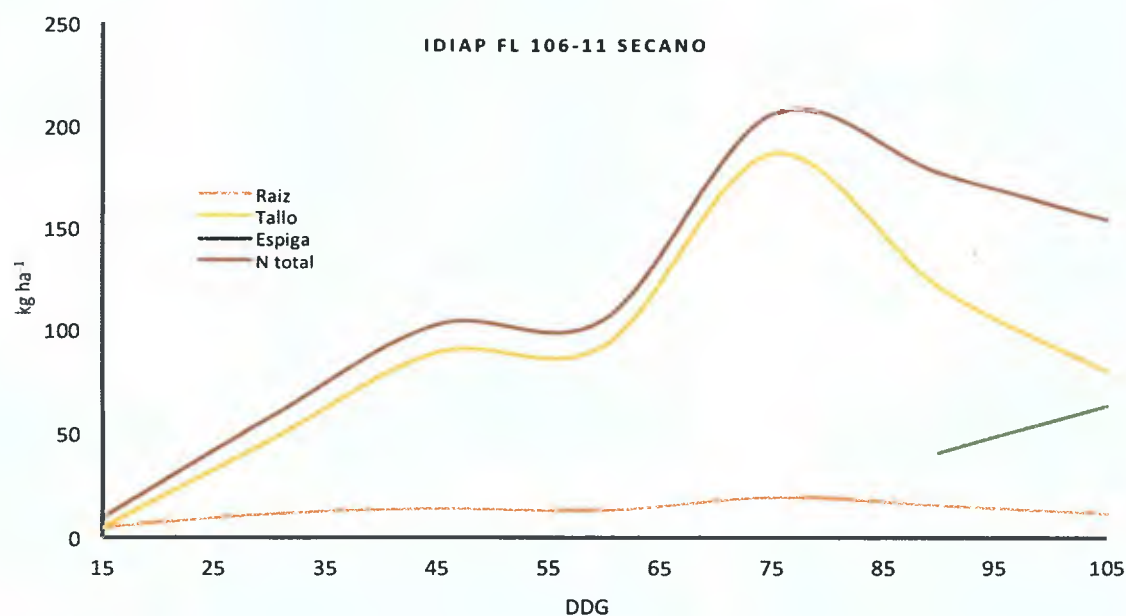


Figura 8. Curva de absorción de nitrógeno en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

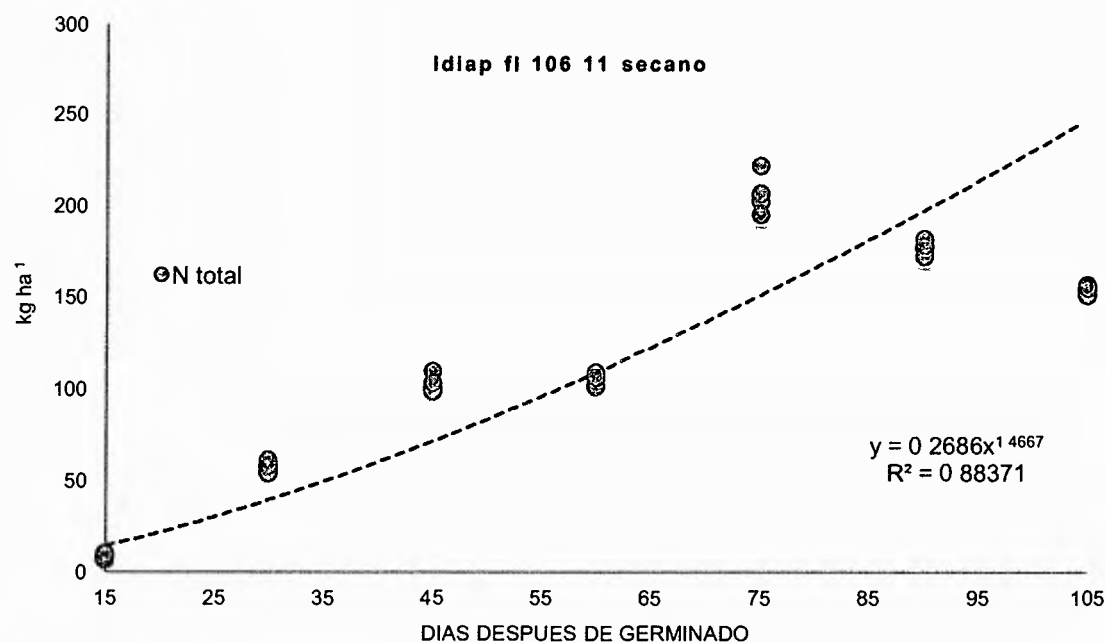


Figura 9 Grafica de regresion de la extraccion de nitrógeno por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano

b Curva de absorcion de fosforo

La absorcion de fosforo (Figura 10) muestra un incremento casi lineal desde el inicio del desarrollo vegetativo hasta el inicio de primordio (60 ddg) donde alcanza unos 26 kg ha⁻¹ allí se dispara hasta acumular unos 48 kg ha⁻¹ en el periodo de embuchamiento (75 ddg) y descende hasta llegar a la etapa de floracion para tener otro incremento en la etapa de maduracion. La extraccion por la raiz se mantiene practicamente constante a traves del tiempo. La extraccion por el follaje decrece al llegar a los 75 ddg mientras que aumenta la extraccion por la espiga indicando la gran movilidad de este elemento hacia el llenado de grano.

La extraccion de fosforo por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 88% en la ecuacion de regresion (Figura 11)

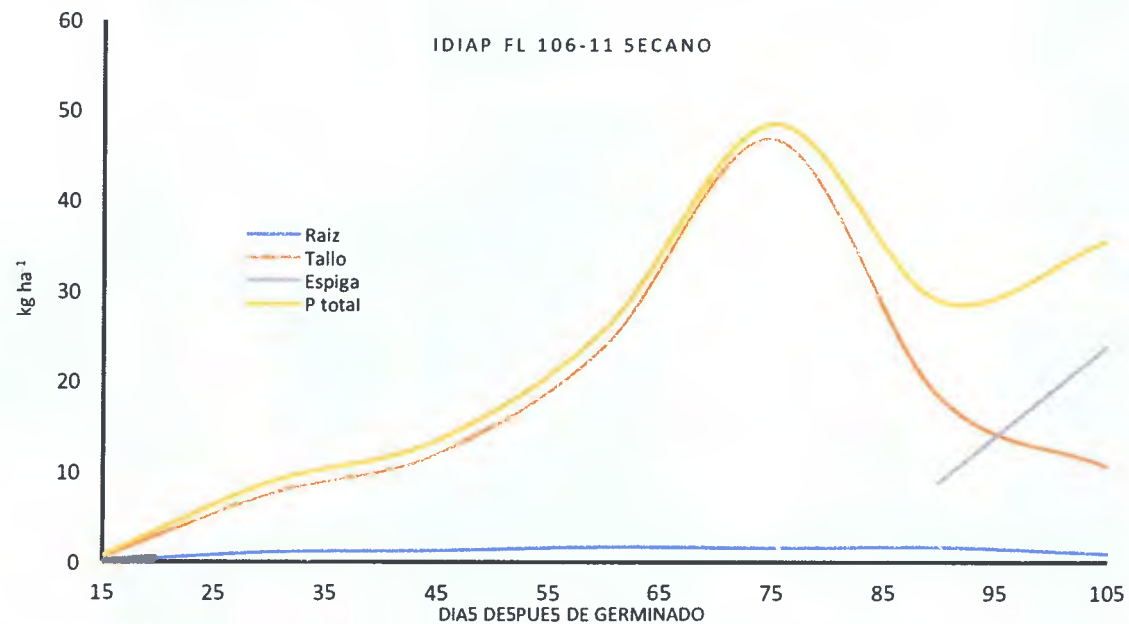


Figura 10. Curva de absorción de fósforo en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

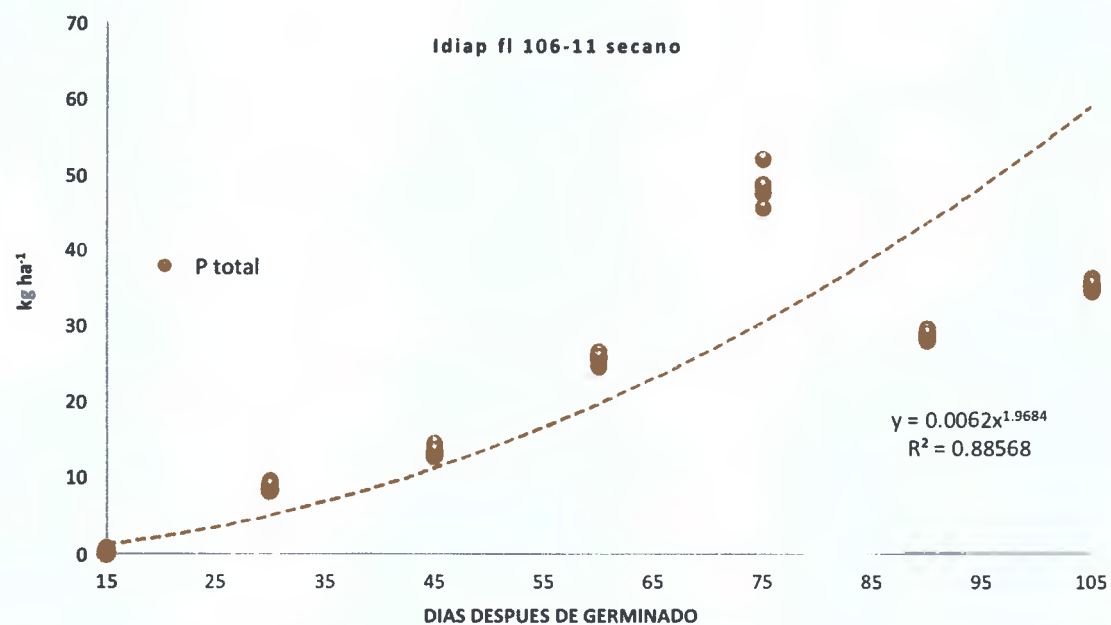


Figura 11. Gráfica de regresión de la extracción de fósforo por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

c. Curva de absorción de potasio

La absorción de potasio (Figura 12), tiene un comportamiento muy similar a la absorción de nitrógeno, en donde va en incremento desde el inicio hasta llegado los 45 ddg, donde alcanza valores de 122.2 kg ha^{-1} , coincidiendo con la etapa de máximo macollamiento, luego se mantiene estable hasta los 60 ddg, donde inicia el primordio floral, de allí se dispara alcanzando un pico de 247.5 kg ha^{-1} por los 90 días donde está la floración y decrece al llegar la maduración del cultivo. Se observa que la absorción por la raíz se mantiene prácticamente constante a lo largo del ciclo de cultivo. La absorción por el follaje al llegar a los 75 ddg donde está el embuchamiento, decrece mientras en el grano va aumentando llegando a acumular hasta 38.6 kg ha^{-1}

La extracción de potasio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 82% en la ecuación de regresión (Figura 13).

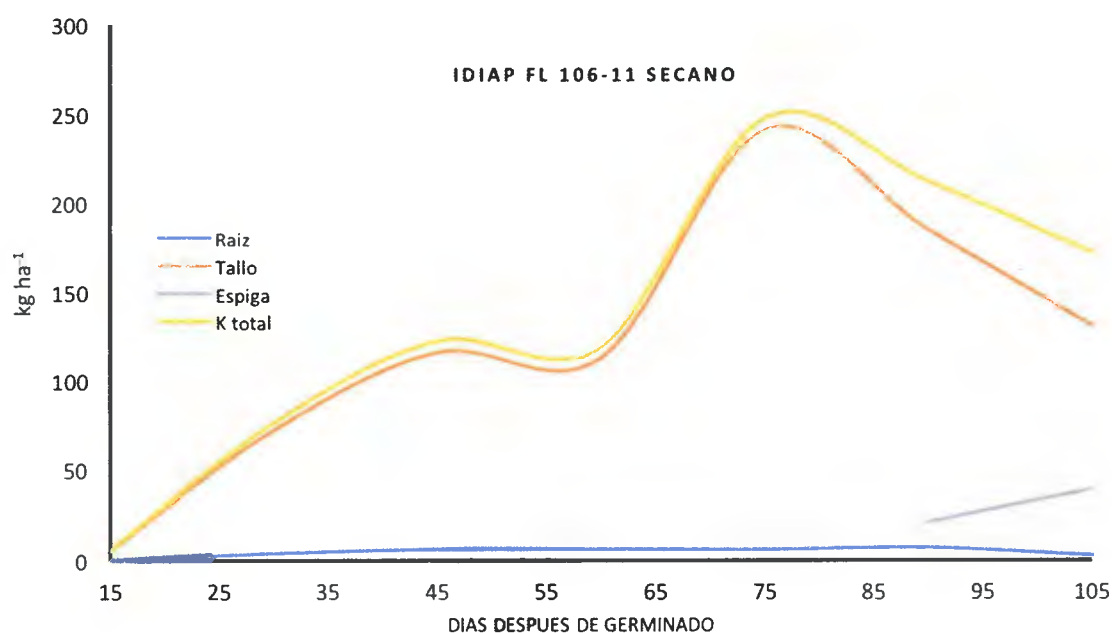


Figura 12. Curva de absorción de potasio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

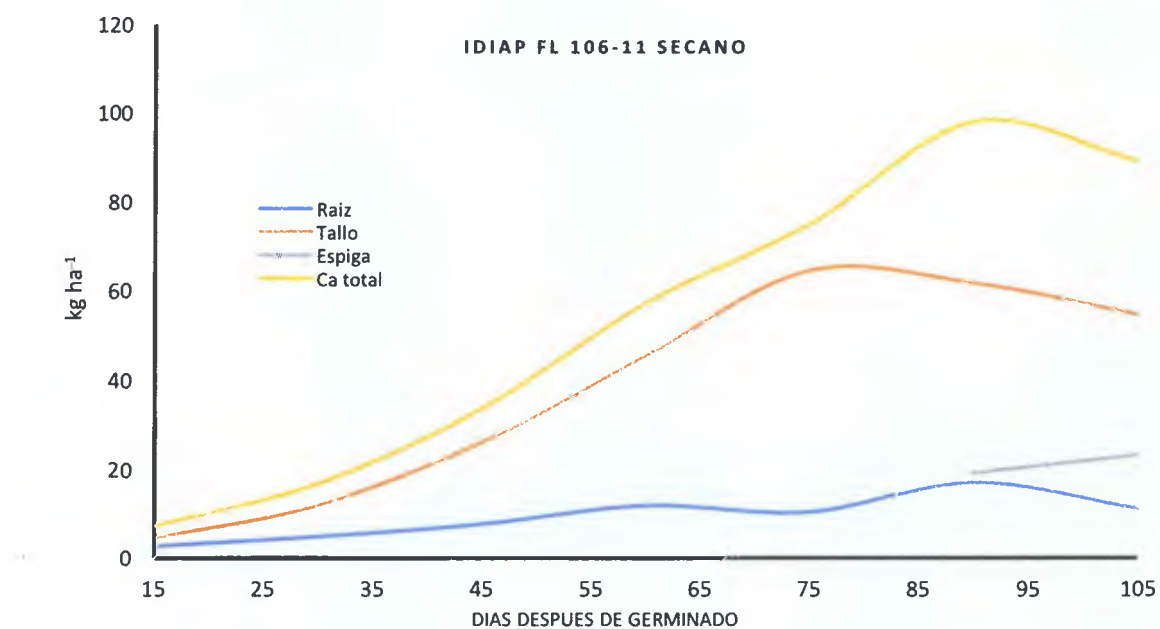


Figura 14. Curva de absorción de calcio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

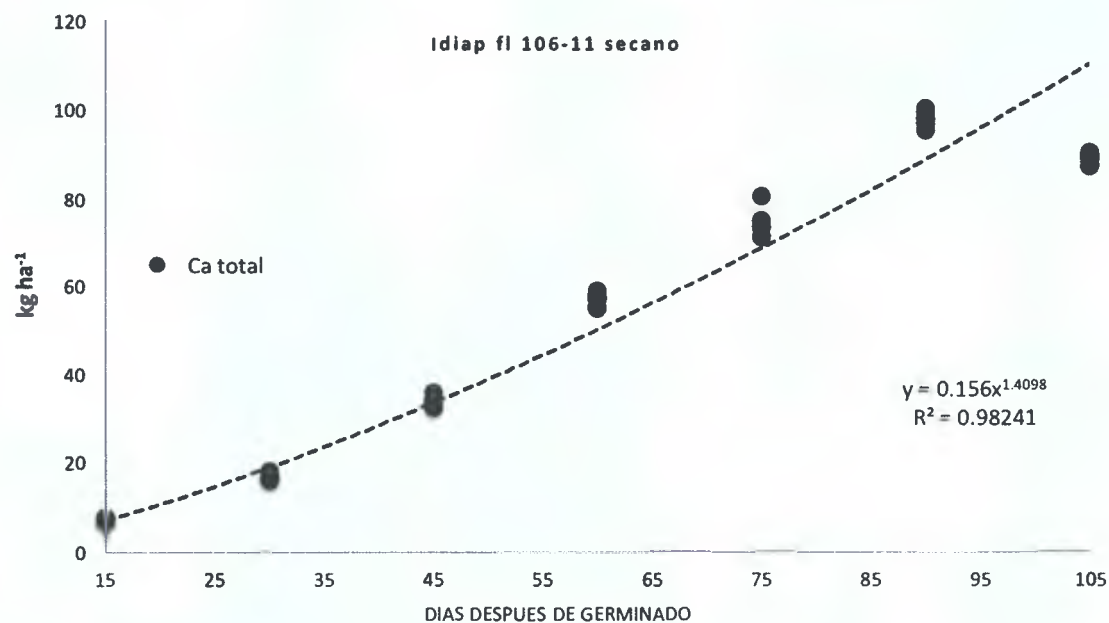


Figura 15. Gráfica de regresión de la extracción de calcio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

e. Curva de absorción de magnesio

La absorción de magnesio (Figura 16), presenta un comportamiento similar al calcio, con un aumento lineal positivo desde el inicio del cultivo hasta la floración (90 ddg), etapa donde alcanza la máxima extracción con 20.7 kg ha^{-1} , y luego decrece al llegar a la etapa de maduración del cultivo. La extracción de magnesio por la raíz va aumentando a medida que transcurre el tiempo, alcanzando un pico a los 90 ddg, mientras que en el follaje la extracción va aumentando en forma lineal hasta llegar a los 75 ddg donde luego va decreciendo mientras está acumulándose en la espiga, la cual extrae 5.8 kg ha^{-1} .

La extracción de magnesio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un buen ajuste de 87% en la ecuación de regresión (Figura 17).

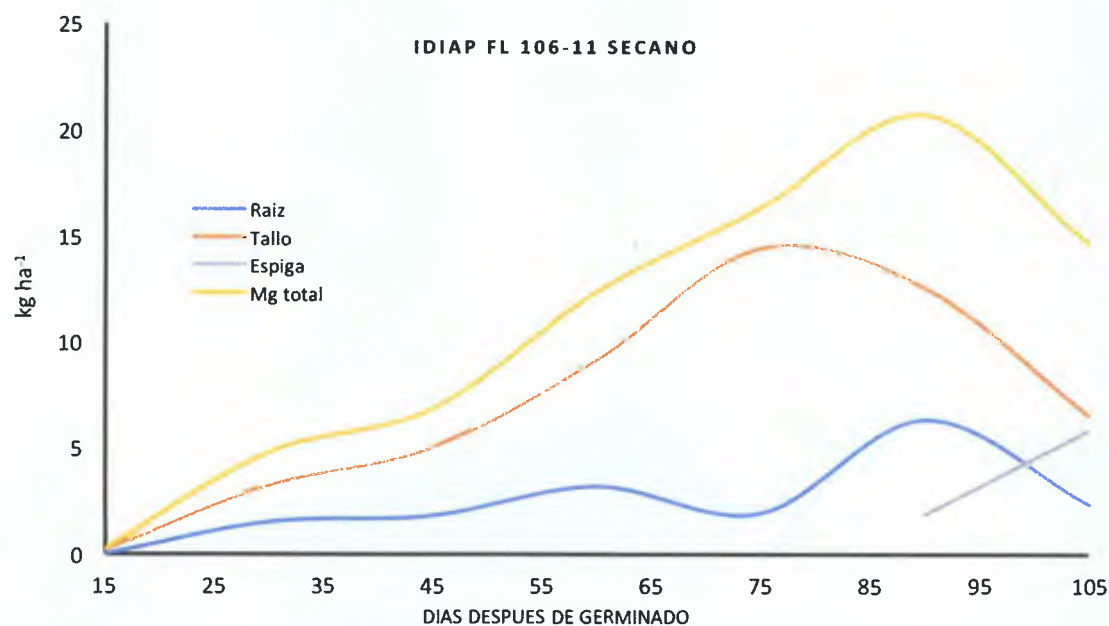


Figura 16. Curva de absorción de magnesio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

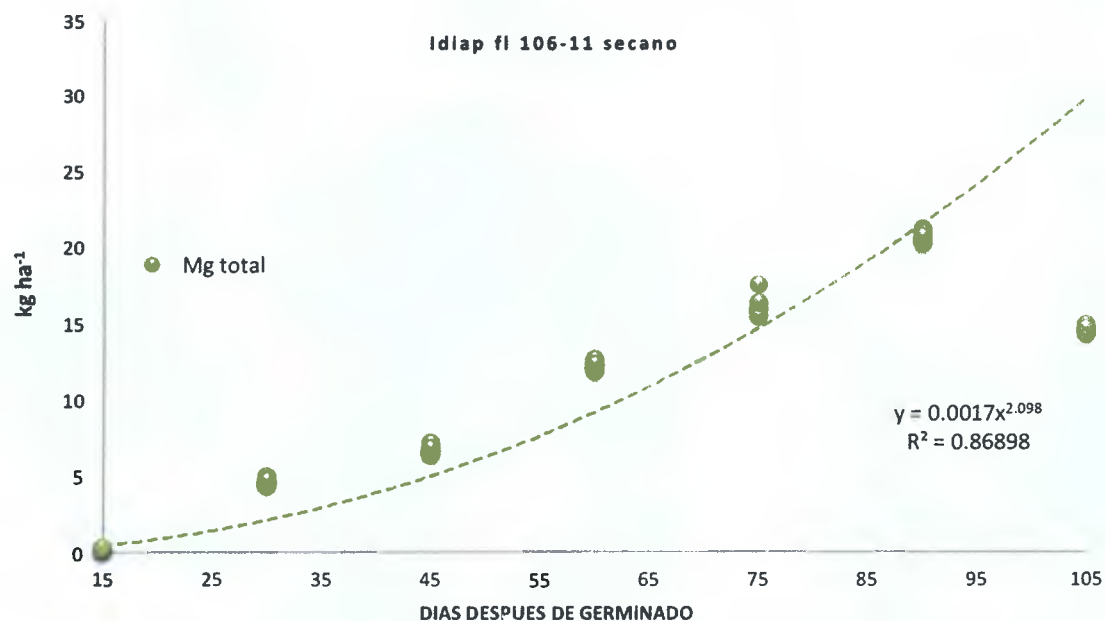


Figura 17. Gráfica de regresión de la extracción de magnesio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

f. Curva de absorción de manganeso

La absorción de manganeso (Figura 18), presenta un comportamiento similar al magnesio, con un aumento lineal positivo desde el inicio del cultivo hasta la floración (90 ddg), etapa donde alcanza la máxima extracción con 0.7 kg ha⁻¹, y luego decrece al llegar a la etapa de maduración del cultivo. La extracción de manganeso por la raíz va aumentando a medida que transcurre el tiempo, alcanzando un pico a los 90 ddg al igual que en el follaje, mientras que en la espiga está acumulándose, la cual extrae 0.1 kg ha⁻¹.

La extracción de manganeso por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un buen ajuste de 95% en la ecuación de regresión (Figura 19).

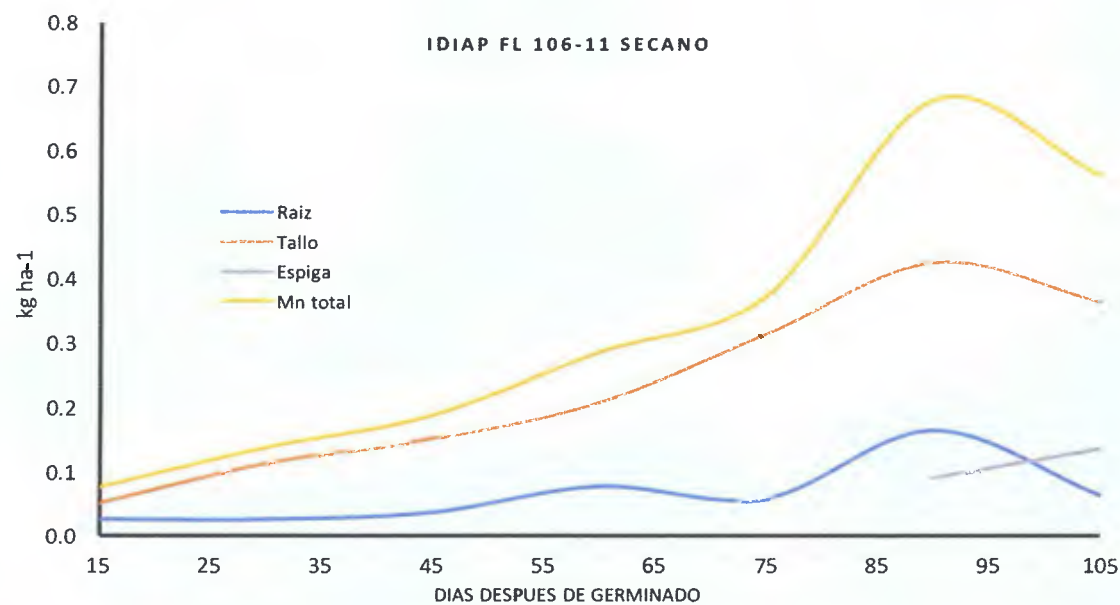


Figura 18. Curva de absorción de manganeso en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

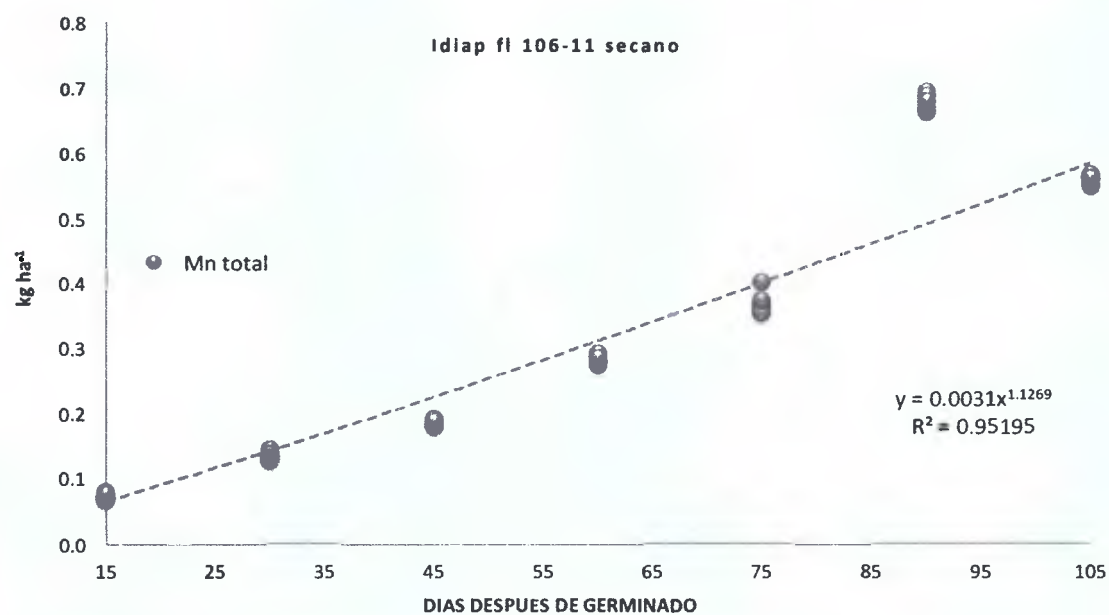


Figura 19. Gráfica de regresión de la extracción de manganeso por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

g. Curva de absorción de hierro

La absorción de hierro (Figura 20), se mantiene a un nivel constante desde el inicio hasta el máximo macollamiento (45 ddg), donde empieza a crecer hasta llegar al primordio (60 ddg), de allí decrece hasta llegar a la etapa de embuchamiento (75 ddg) y tiene un incremento hasta alcanzar su máxima extracción en la etapa de floración (90 ddg), con 2.68 kg ha^{-1} , volviendo a decrecer al llegar la maduración. La mayor cantidad de hierro es extraída por la raíz, alcanzando hasta 2.16 kg ha^{-1} en la etapa de floración, con un comportamiento similar a la extracción total descrita anteriormente, mientras que la extracción por el follaje se mantiene estable desde el inicio hasta llegar al máximo macollamiento, donde se incrementa al llegar al primordio floral y de allí se mantiene constante hasta la maduración con una acumulación máxima de 0.41 kg ha^{-1} . La extracción por la espiga se mantiene constante desde la floración hasta la maduración.

La extracción de hierro por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 67% en la ecuación de regresión (Figura 21).

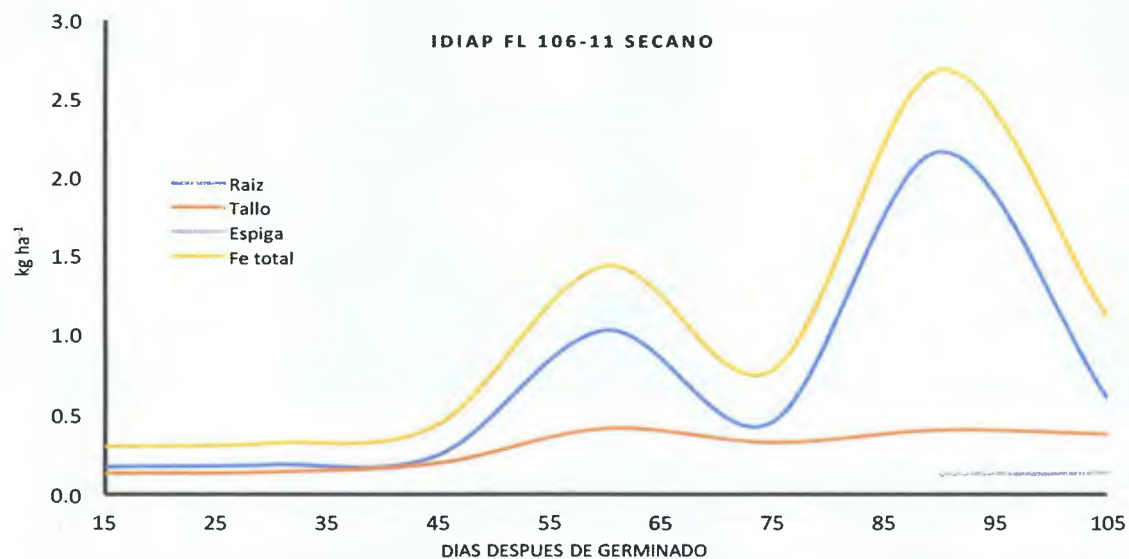


Figura 20. Curva de absorción de hierro en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

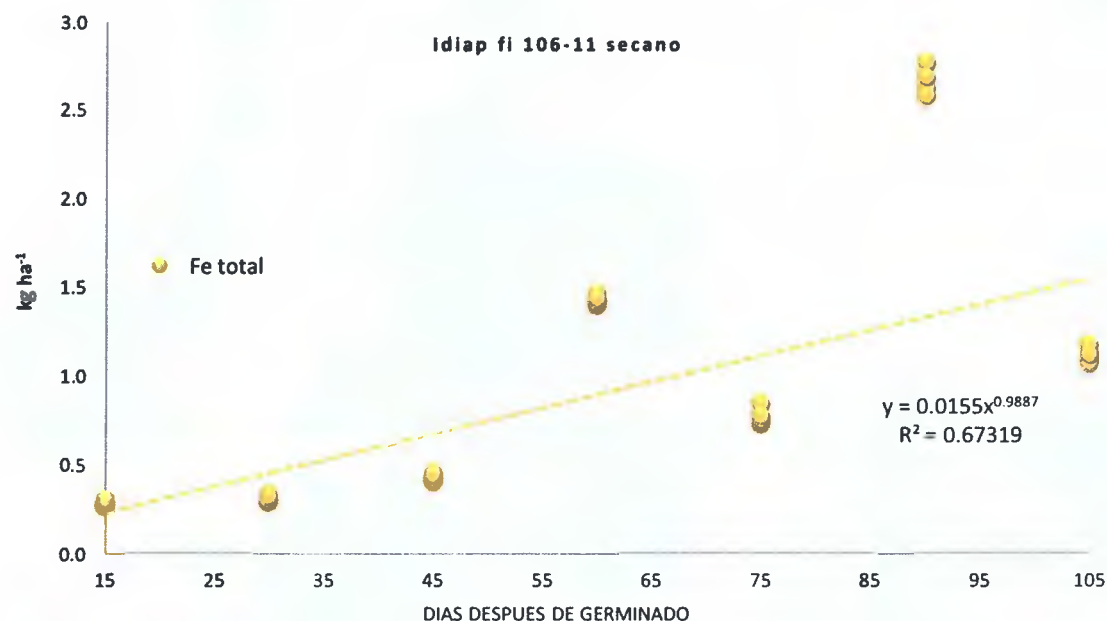


Figura 21. Gráfica de regresión de la extracción de hierro por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

h. Curva de absorción de cobre

La absorción de cobre (Figura 22), presenta un aumento lineal positivo desde el inicio del cultivo hasta la floración (90 ddg), etapa donde alcanza la máxima extracción con 0.222 kg ha⁻¹, y luego decrece al llegar a la etapa de maduración del cultivo. La extracción de cobre por la raíz va aumentando hasta la etapa de máximo macollamiento, luego se mantiene constante hasta llegar a la etapa de embuchamiento donde vuelve a incrementarse hasta alcanzar unos 0.071 kg ha⁻¹ en la etapa de floración, mientras que en el follaje la extracción va aumentando en forma lineal hasta llegar a los 75 ddg, donde se mantiene constante hasta los 90 ddg alcanzando 0.14 kg ha⁻¹. La extracción por la espiga aumenta desde la floración hasta la maduración donde acumula 0.064 kg ha⁻¹.

La extracción de cobre por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un buen ajuste de 92% en la ecuación de regresión (Figura 23).

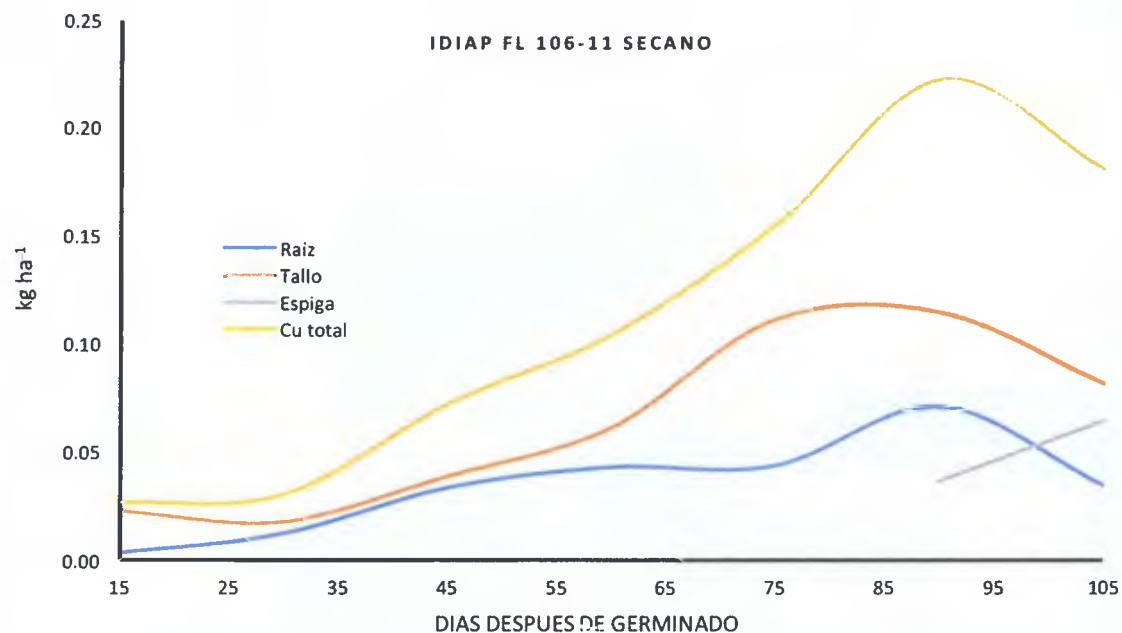


Figura 22. Curva de absorción de cobre en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

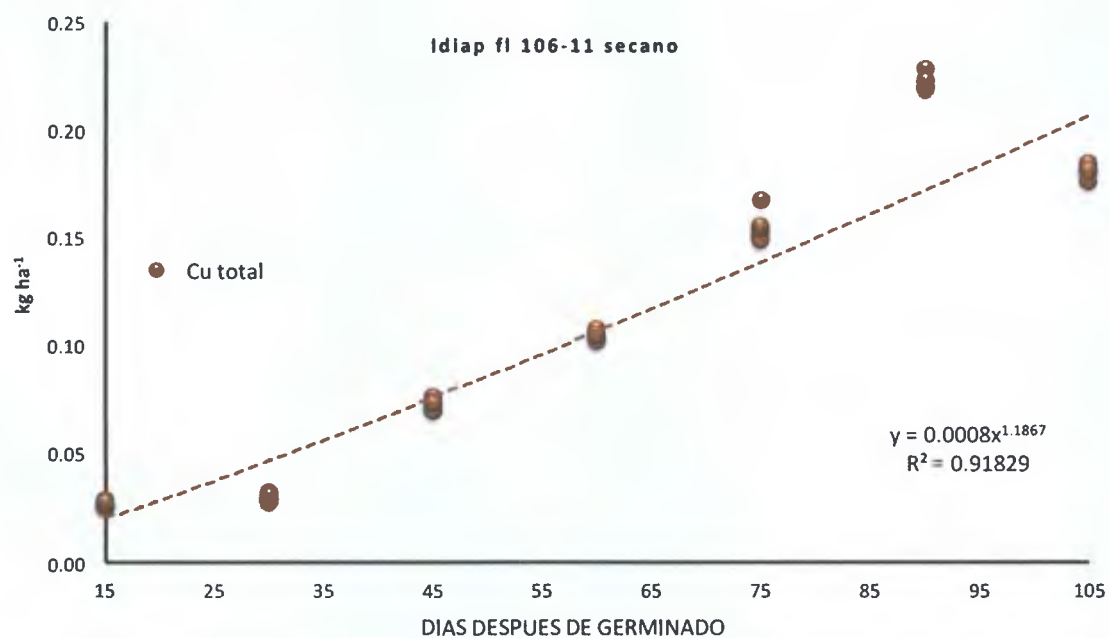


Figura 23. Gráfica de regresión de la extracción de cobre por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

i. Curva de absorción de zinc

La curva de absorción de zinc (Figura 24), presenta un comportamiento similar a la extracción de cobre, con un aumento lineal positivo desde el inicio del cultivo hasta la floración (90 ddg), etapa donde alcanza la máxima extracción con 0.79 kg ha^{-1} , y luego decrece al llegar a la etapa de maduración del cultivo. La extracción por el follaje va en aumento hasta llegar a la etapa del primordio floral donde alcanza 0.56 kg ha^{-1} , luego decrece hasta llegar al estado de madurez. La extracción por la raíz es constante desde el inicio hasta llegar el embuchamiento donde se incrementa en el estado de maduración y allí decrece cuando llega a la maduración. La extracción por la espiga va en aumento desde la floración hasta llegada la maduración.

La extracción de zinc por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un buen ajuste de 92% en la ecuación de regresión (Figura 25).

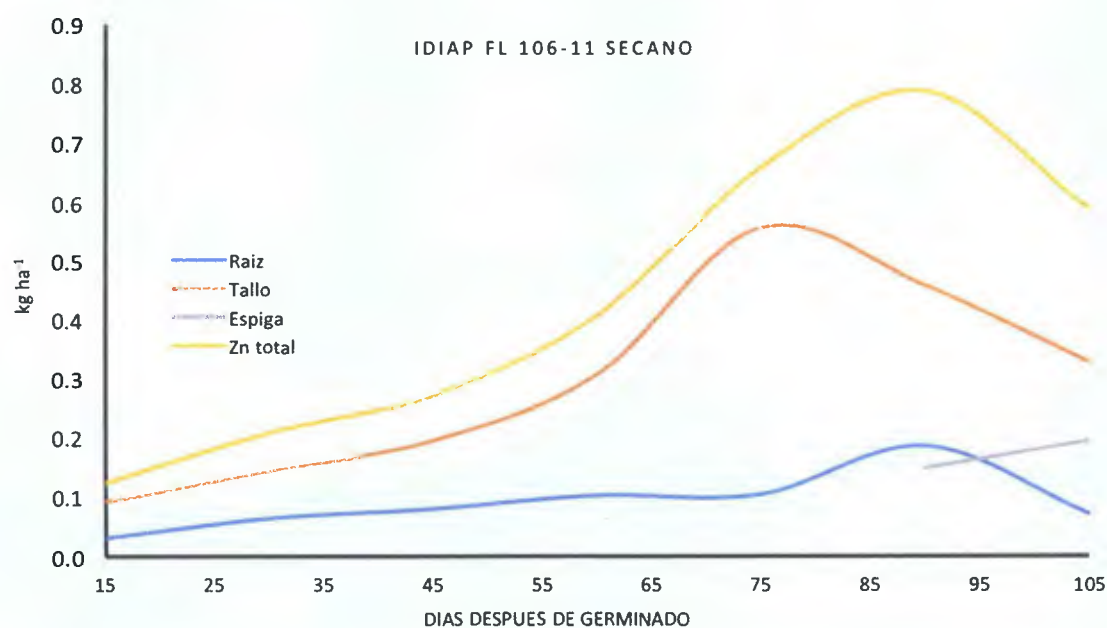


Figura 24. Curva de absorción de zinc en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de secano.

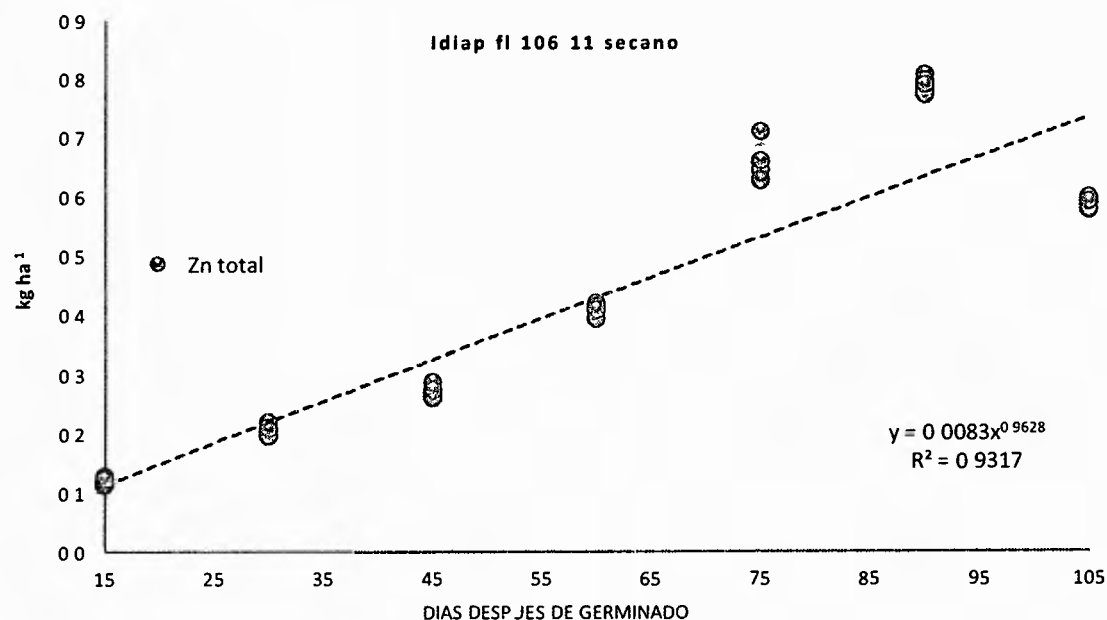


Figura 25 Grafica de regresion de la extraccion de zinc por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de secano

2.2 Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 137 11 en un suelo Entisol bajo condiciones de secano

Los valores de extraccion total de nutrientes en las distintas etapas fenologicas del cultivo para la variedad IDIAP FL 137 11 bajo condiciones de secano se presentan en el Cuadro VII los cuales son resultados medios provenientes de dos ciclos de cultivo. La absorcion de nutrientes por la planta va aumentando en todo el ciclo vegetativo debido a su estrecha correlacion con la produccion de biomasa seca total.

**Cuadro VIII Extraccion total de nutrientes por etapa fenologica para la variedad
IDIAP FL 137 11 bajo condiciones de secano**

Sistema	Variedad	ddg	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
			kg ha ⁻¹								
secano	IDIAP FL 137 11	15	35 0	4 5	34 6	12 8	1 6	0 16	0 41	0 13	0 04
		30	53 4	10 8	42 9	20 0	4 7	0 27	0 79	0 18	0 06
		45	92 9	15 2	108 6	29 1	5 4	0 32	0 48	0 25	0 07
		60	129 9	25 9	140 2	60 6	11 1	0 42	0 73	0 27	0 30
		75	216 1	43 4	258 3	73 4	14 4	0 54	1 04	0 41	0 38
		90	232 5	44 3	286 3	93 5	14 6	1 61	2 66	1 20	0 40
		105	157 7	27 7	146 5	129 3	19 3	1 21	2 08	0 60	0 23

a Curva de absorcion de nitrógeno

La absorcion de nitrógeno (Figura 26) va en incremento desde el inicio hasta llegado los 90 días despues de germinado (ddg) donde alcanza valores de 232 5 kg ha⁻¹ coincidiendo con la etapa de floracion decrece al llegar la maduracion del cultivo Se observa que la absorcion por la raiz se mantiene practicamente constante a lo largo del ciclo de cultivo La absorcion por el follaje al llegar a los 75 ddg donde esta el embuchamiento decrece mientras en el grano va aumentando llegando a acumular hasta 79 kg ha⁻¹ indicando la gran movilidad del N hacia la panícula

La extraccion de nitrógeno por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 90% en la ecuacion de regresion (Figura 27)

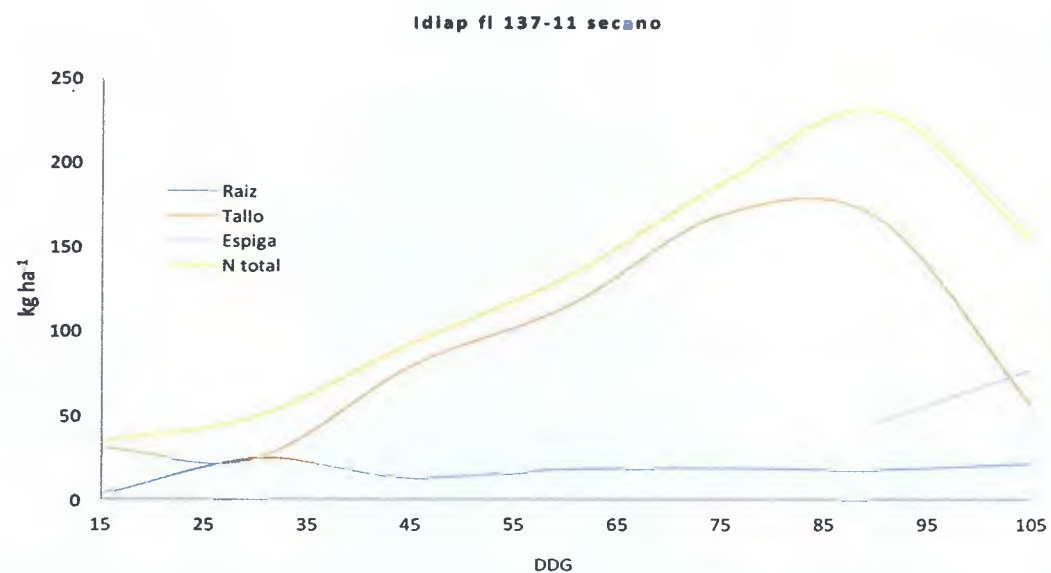


Figura 26. Curva de absorción de nitrógeno en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

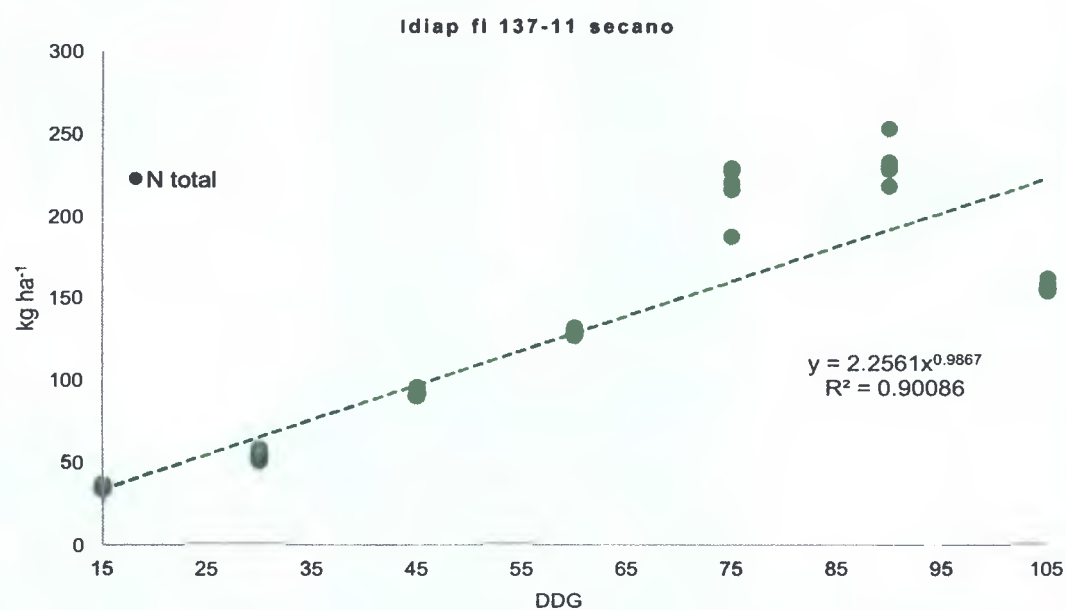


Figura 27. Gráfica de regresión de la extracción de nitrógeno por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

b. Curva de absorción de fósforo

La absorción de fósforo (Figura 28), muestra un incremento lineal desde el inicio del desarrollo vegetativo hasta el inicio de primordio (60 ddg), donde alcanza unos 24 kg ha⁻¹, allí se dispara hasta acumular unos 44 kg ha⁻¹ en el periodo floración (90 ddg) y desciende hasta llegar a la etapa de maduración. La extracción por la raíz se mantiene prácticamente constante a través del tiempo. La extracción por el follaje decrece al llegar a los 75 ddg mientras que aumenta la extracción por la espiga, indicando la gran movilidad de este elemento hacia el llenado de grano.

La extracción de fósforo por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 89% en la ecuación de regresión (Figura 29).

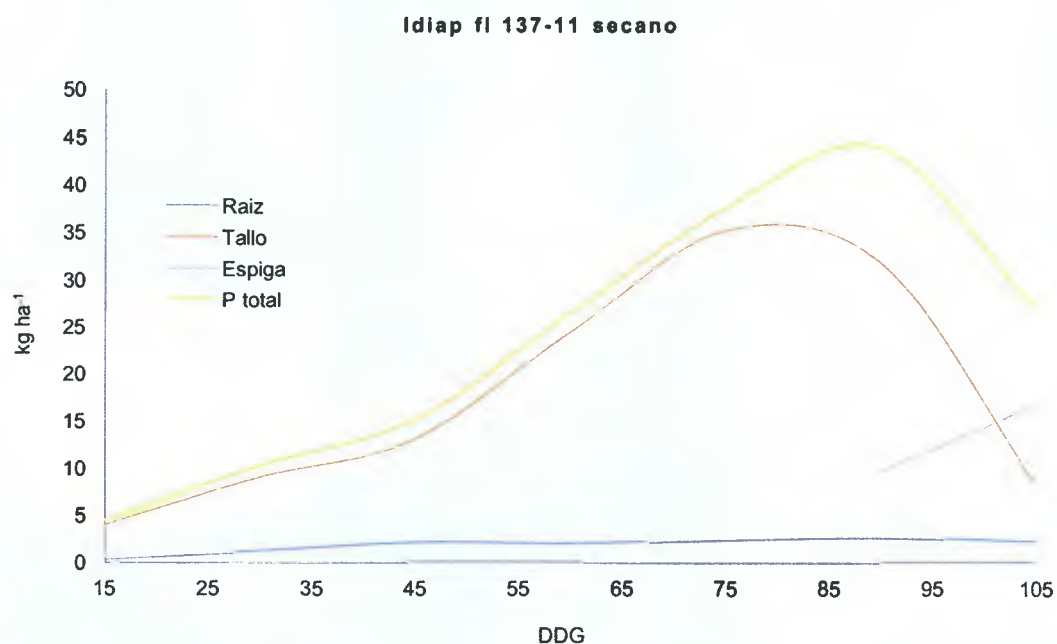


Figura 28. Curva de absorción de fósforo en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

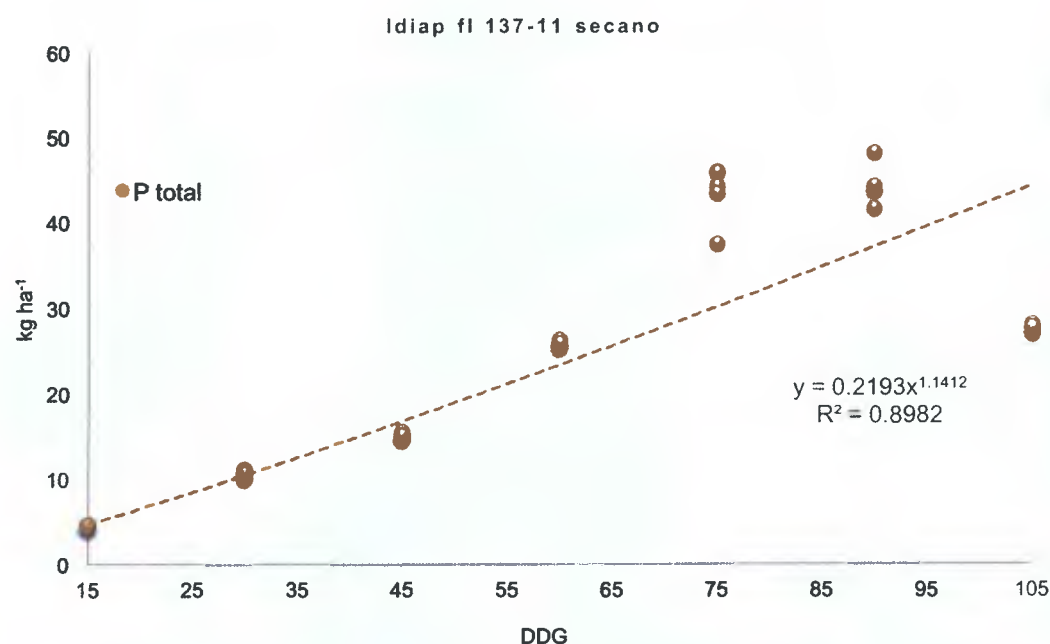


Figura 29. Gráfica de regresión de la extracción de fósforo por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

c. Curva de absorción de potasio

La absorción de potasio (Figura 30), va en incremento desde el inicio hasta llegado los 45 ddg, donde alcanza valores de 109 kg ha⁻¹, coincidiendo con la etapa de máximo macollamiento, luego se mantiene estable hasta los 60 ddg, donde inicia el primordio floral, de allí se dispara alcanzando un pico de 286 kg ha⁻¹ por los 90 días donde está la floración y decrece al llegar la maduración del cultivo. Se observa que la absorción por la raíz se mantiene prácticamente constante a lo largo del ciclo de cultivo. La absorción por el follaje mantiene el mismo comportamiento que la absorción total de K, llegando a acumular hasta 256 kg ha⁻¹, mientras que la espiga acumula unos 48 kg ha⁻¹.

La extracción de potasio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 82% en la ecuación de regresión (Figura 31).

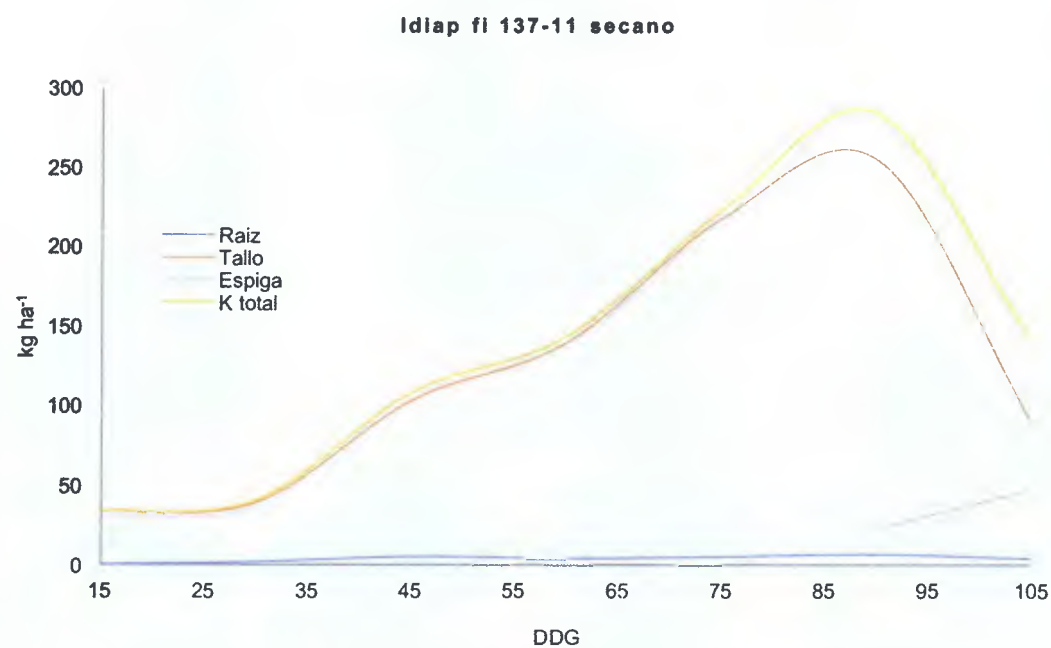


Figura 30. Curva de absorción de potasio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

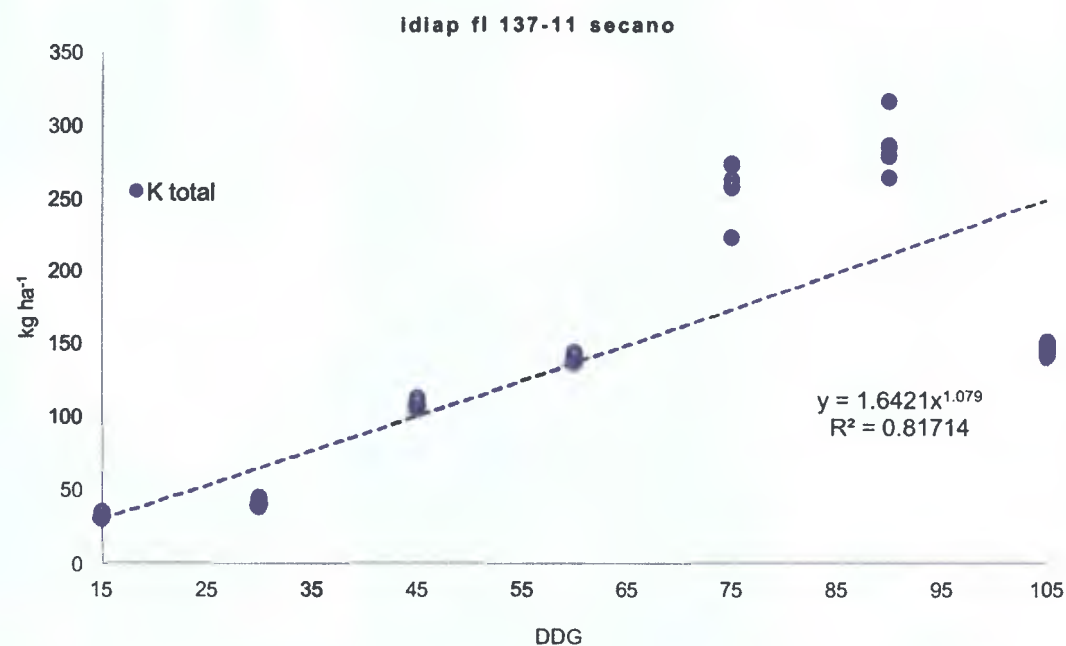


Figura 31. Gráfica de regresión de la extracción de potasio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

d. Curva de absorción de calcio

La absorción de calcio (Figura 32), presenta una absorción constante hasta la etapa de máximo macollamiento (45 ddg), luego hay un rápido incremento hasta la etapa del primordio (60 ddg) donde después se mantiene constante hasta llegado el primordio floral, donde empieza un incremento hasta llegada la maduración, alcanzando su máxima extracción de Ca (129 kg ha^{-1}). La extracción de calcio por la raíz va aumentando a medida que transcurre el tiempo, acumulando unos 16 kg ha^{-1} , mientras que en el follaje la extracción va aumentando en forma similar a la extracción total. La espiga va acumulando el Ca hasta alcanzar los 37 kg ha^{-1} .

La extracción de calcio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste muy bueno de 95% en la ecuación de regresión (Figura 33).

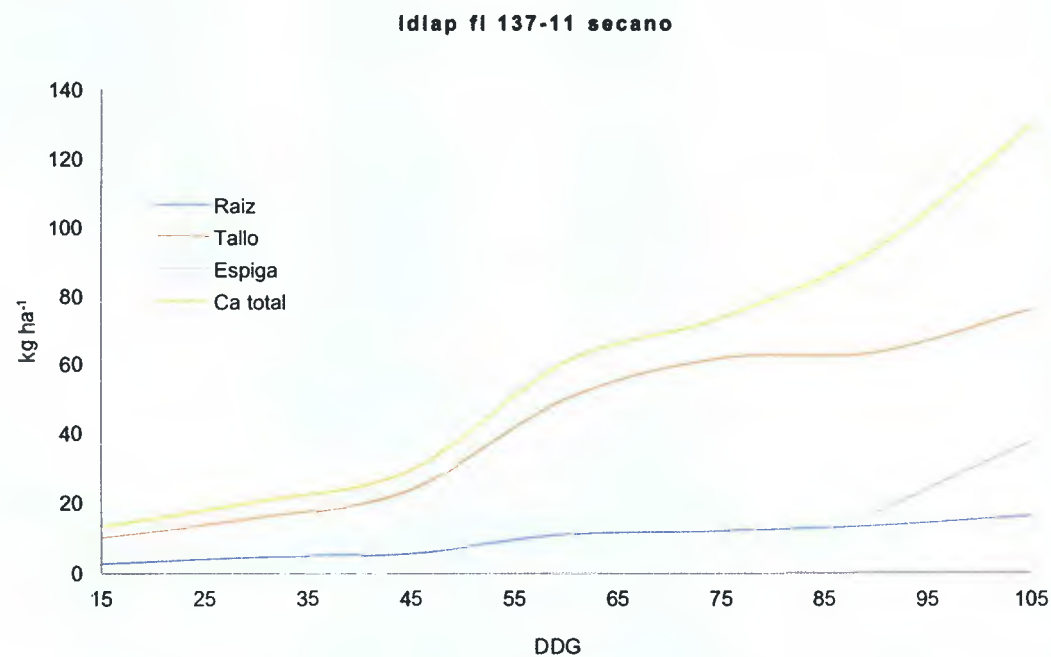


Figura 32. Curva de absorción de calcio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

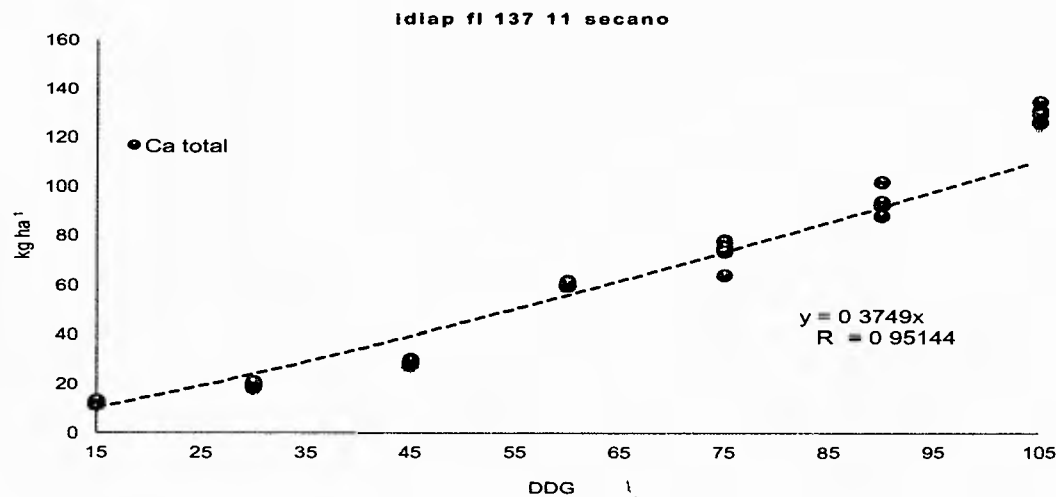


Figura 33 Grafica de regresion de la extraccion de calcio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano

e Curva de absorcion de magnesio

La absorcion de magnesio (Figura 34) presenta un comportamiento similar al calcio con una absorcion constante hasta la etapa de maximo macollamiento (45 ddg) luego hay un rapido incremento hasta la etapa del primordio (60 ddg) donde despues se mantiene constante hasta llegado el primordio floral donde empieza un incremento hasta llegada la maduracion alcanzando su maxima extraccion de Mg (19 kg ha⁻¹) La extraccion por la raiz va aumentando a medida que transcurre el tiempo acumulando unos 4 kg ha⁻¹ mientras que en el follaje la extraccion va aumentando en forma similar a la extraccion total hasta la etapa de embuchamiento donde decrece al llegar la etapa de floracion y vuelve a incrementarse al llegar la maduracion del cultivo La espiga va acumulando el Mg hasta alcanzar los 4.5 kg ha⁻¹

La extraccion de magnesio por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un buen ajuste de 97% en la ecuacion de regresion (Figura 35)

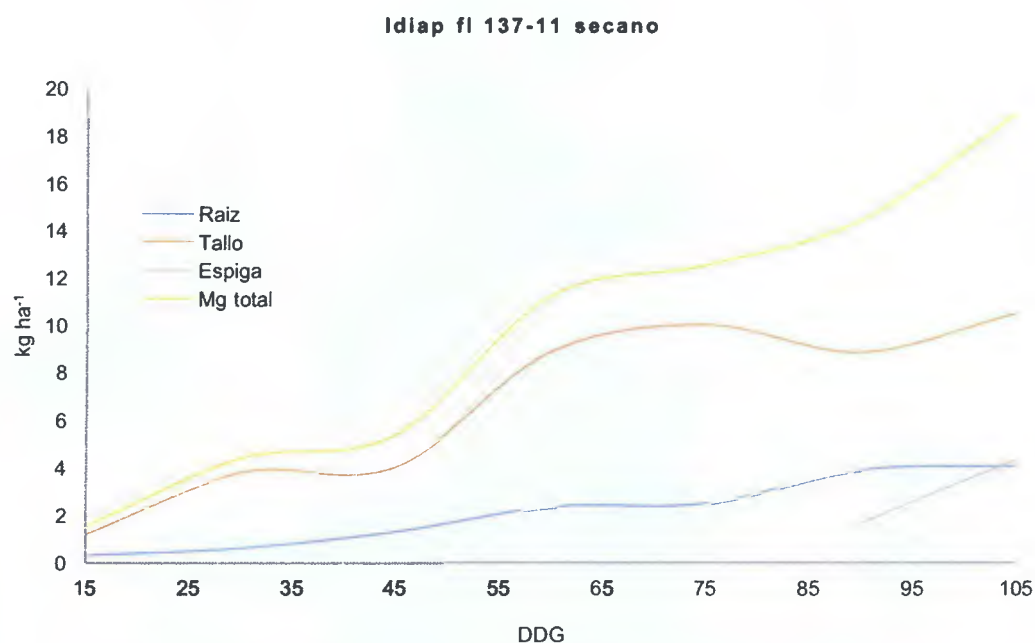


Figura 34. Curva de absorción de magnesio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

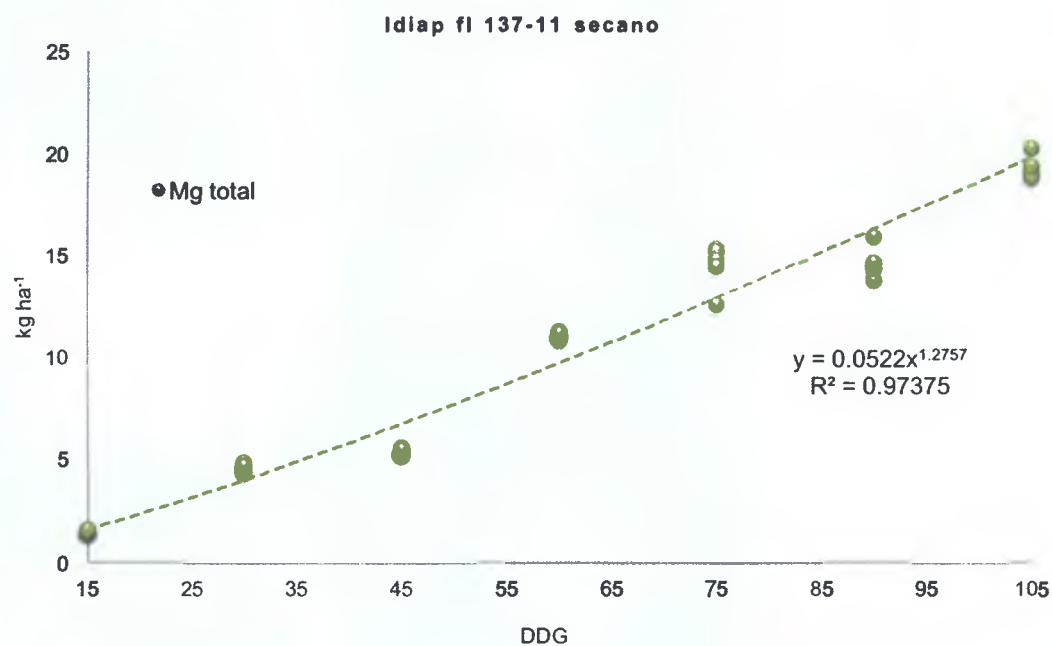


Figura 35. Gráfica de regresión de la extracción de magnesio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

f. Curva de absorción de manganeso

La absorción de manganeso (Figura 36), es constante desde el inicio del cultivo hasta la etapa del primordio floral, luego aumenta rápidamente hasta la floración, etapa donde alcanza la máxima extracción con 1.2 kg ha^{-1} y luego decrece al llegar a la etapa de maduración del cultivo. La extracción de manganeso por la raíz va fluctuando a medida que transcurre el tiempo. La extracción por el follaje tiene una tendencia similar a la extracción total. En la espiga se acumulan unos 0.2 kg ha^{-1} de manganeso.

La extracción de manganeso por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 83% en la ecuación de regresión (Figura 37).

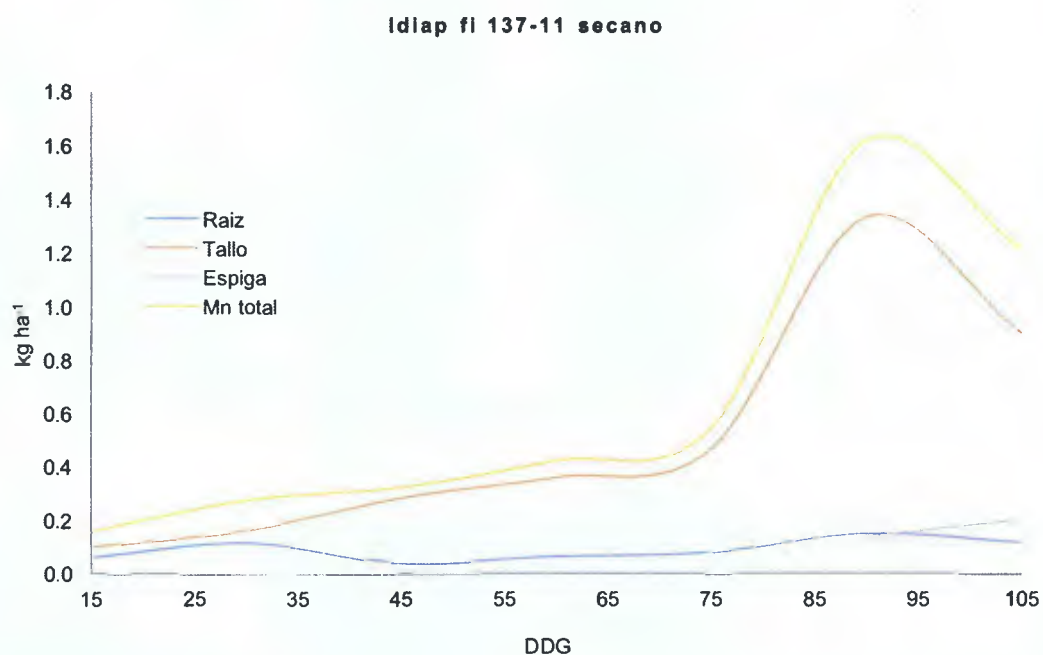


Figura 36. Curva de absorción de manganeso en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

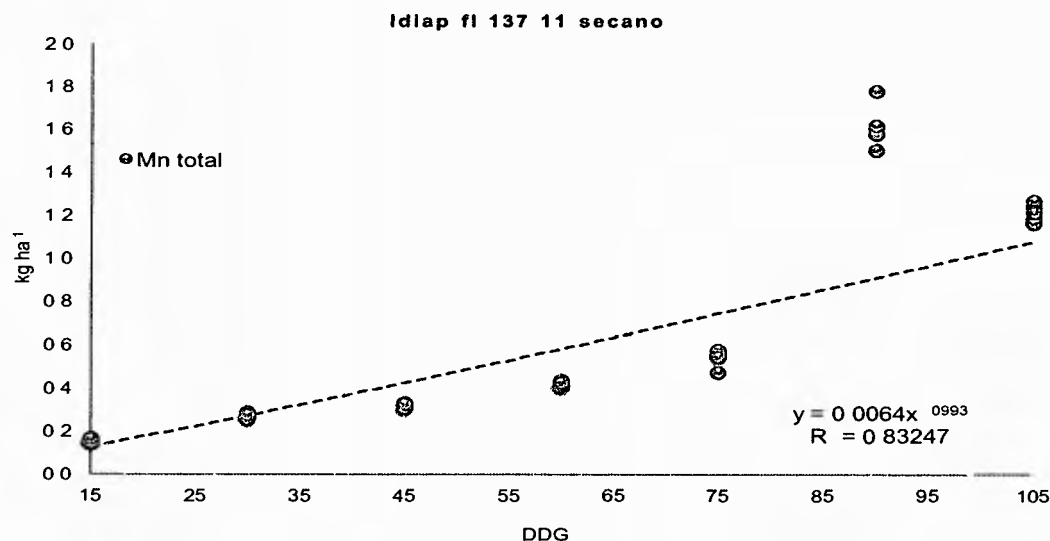


Figura 37 Grafica de regresion de la extraccion de manganeso por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano

g Curva de absorcion de hierro

La absorcion de hierro (Figura 38) va en aumento desde el inicio del cultivo hasta el inicio de macollamiento luego decrece al llegar a el maximo macollamiento donde empieza a crecer hasta llegar a la etapa de embuchamiento de allí presenta un rapido incremento hasta alcanzar su maxima extraccion en la etapa de floracion (2.1 kg ha⁻¹) volviendo a decrecer al llegar la maduracion. La mayor cantidad de hierro es extraida por la raiz alcanzando hasta 1.5 kg ha⁻¹ en la etapa de floracion con un comportamiento similar a la extraccion total descrita anteriormente. La extraccion por el follaje se mantiene estable desde el inicio hasta llegar al primordio floral donde se incrementa al llegar a la floracion decreciendo hasta la maduracion. La extraccion por la espiga se mantiene constante desde la floracion hasta la maduracion.

La extraccion de hierro por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 66% en la ecuacion de regresion (Figura 39)

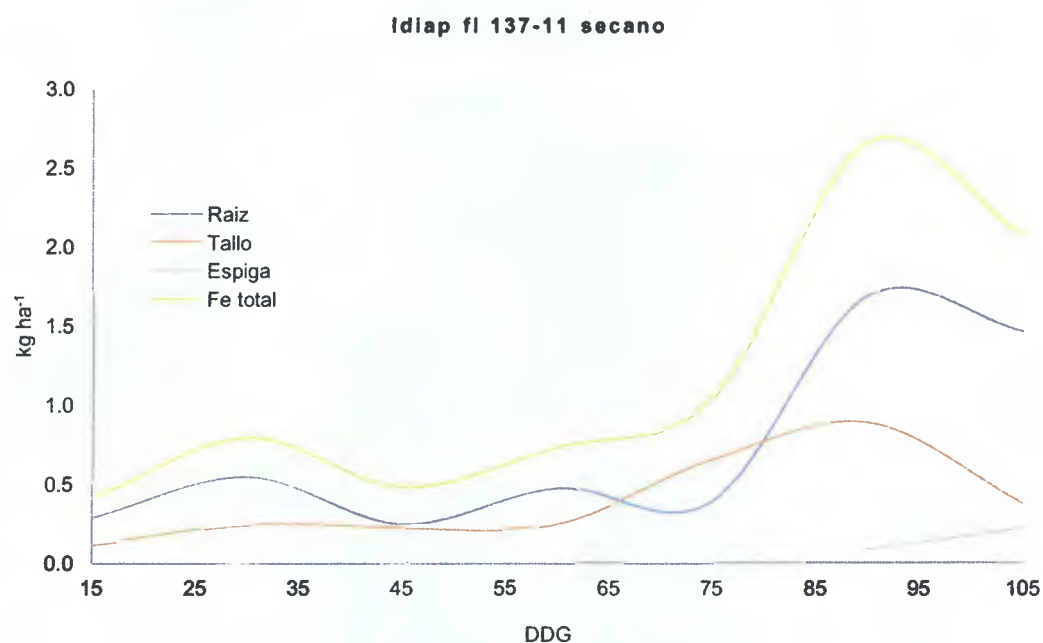


Figura 38. Curva de absorción de hierro en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

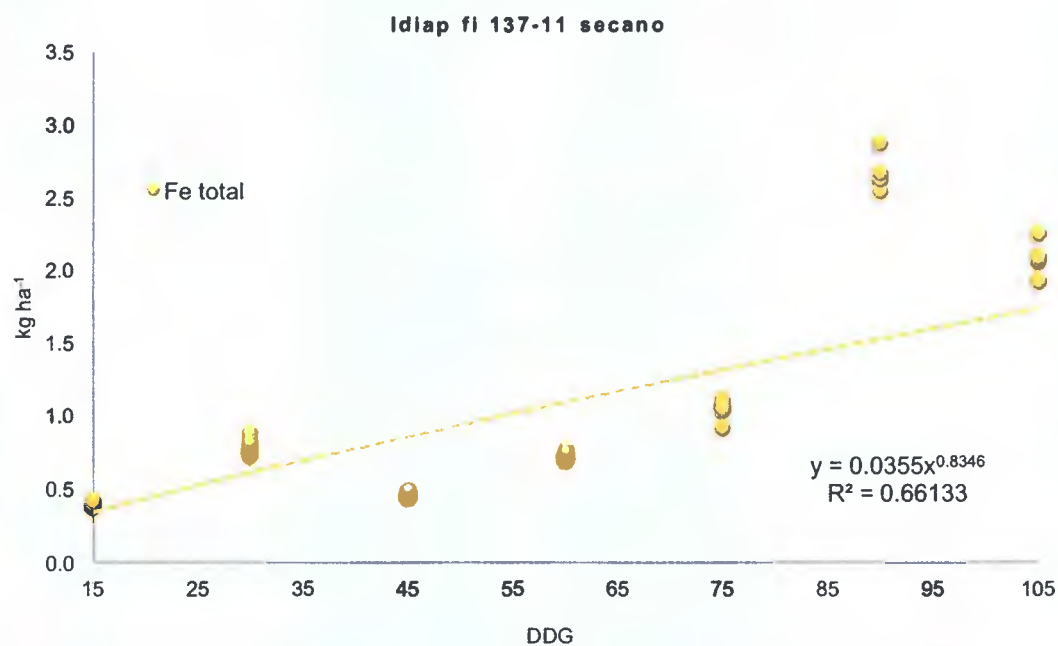


Figura 39. Gráfica de regresión de la extracción de hierro por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

h. Curva de absorción de cobre

La absorción de cobre (Figura 40), presenta un comportamiento estable desde el inicio del cultivo hasta la etapa de máximo macollamiento, luego crece al llegar a la etapa de floración del cultivo donde empieza a bajar hasta llegar a la maduración del cultivo. La extracción de cobre por la raíz se mantiene constante hasta llegar a la etapa de maduración. En el follaje la extracción presenta un comportamiento casi estable desde el inicio del cultivo hasta la etapa de máximo macollamiento, luego crece rápidamente al llegar a la etapa del primordio floral, donde empieza a declinar rápidamente hasta la maduración. La extracción por la espiga disminuye desde la floración hasta la maduración.

La extracción de cobre por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 78% en la ecuación de regresión (Figura 41).

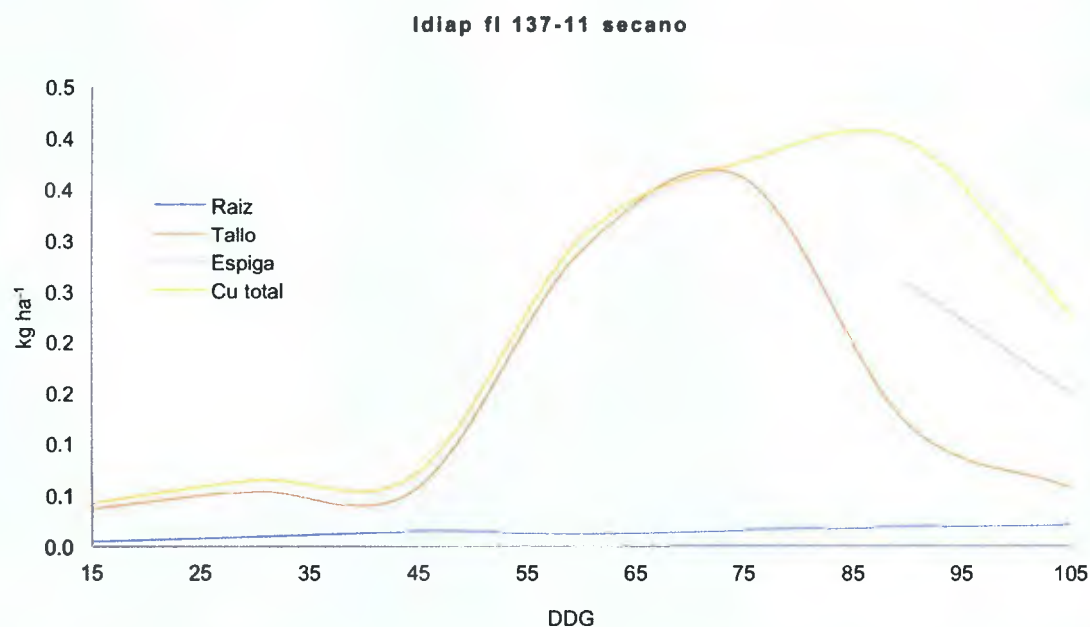


Figura 40. Curva de absorción de cobre en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

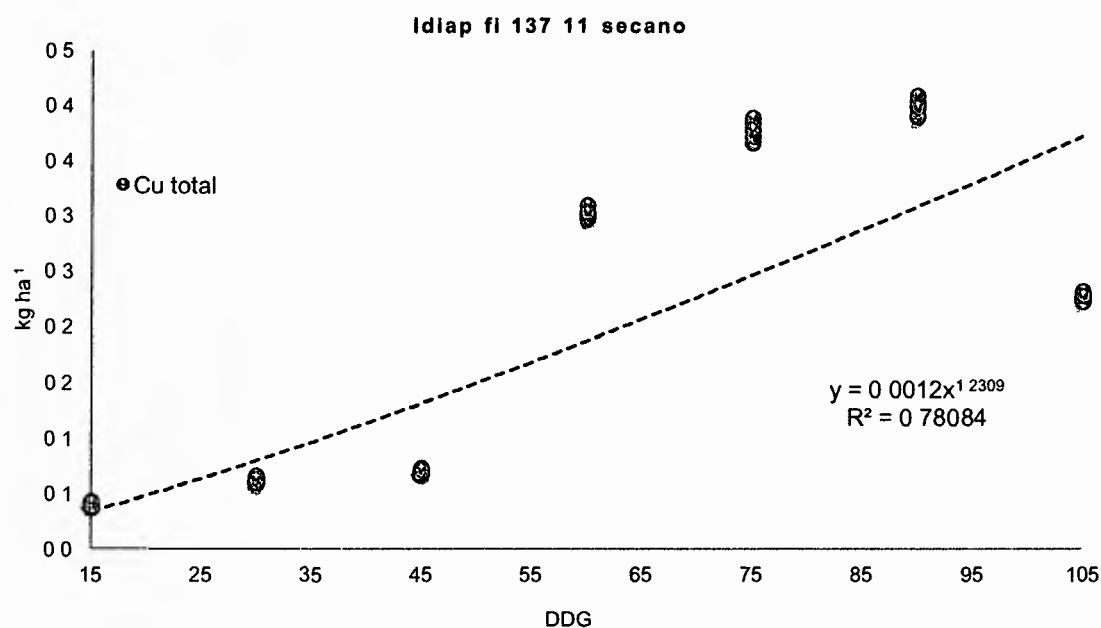


Figura 41 Grafica de regresion de la extraccion de cobre por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de secano

1 Curva de absorcion de zinc

La curva de absorcion de zinc (Figura 42) presenta un comportamiento constante desde el inicio del cultivo hasta llegar al primordio floral donde empieza a crecer rapidamente hasta alcanzar el pico de maxima extraccion en la floracion acumulando 1.2 kg ha⁻¹. La extraccion por el follaje presenta un comportamiento similar a la extraccion de Zn total. La extraccion por la raiz es constante desde el inicio hasta llegar el estado de maduracion con un incremento en el maximo macollamiento. La extraccion por la espiga va en aumento desde la floracion hasta llegada la maduracion.

La extraccion de zinc por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 77% en la ecuacion de regresion (Figura 43).

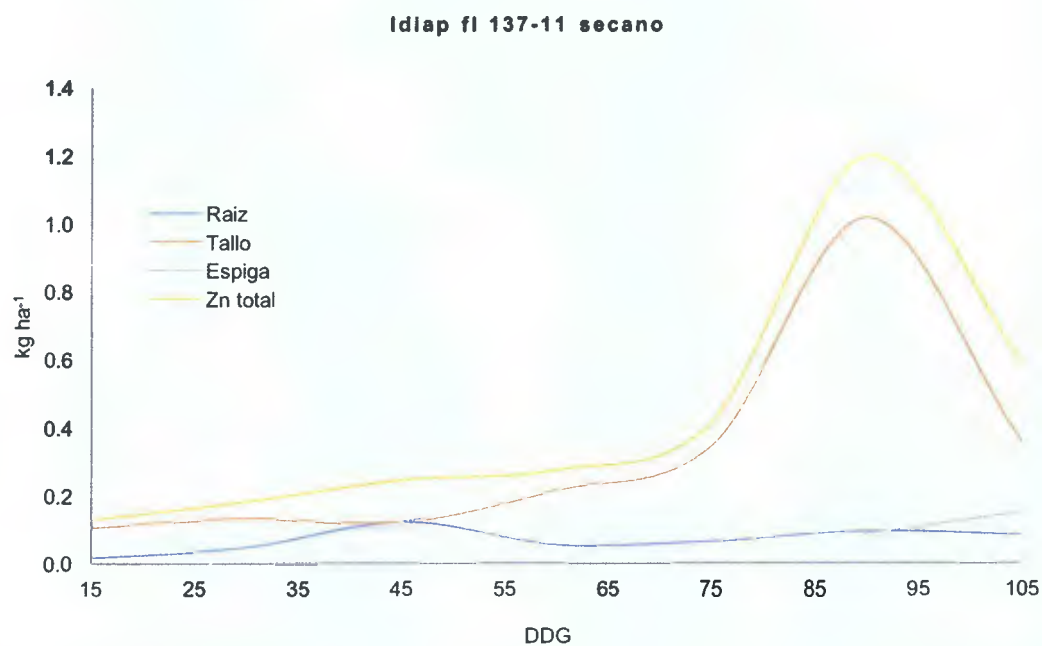


Figura 42. Curva de absorción de zinc en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

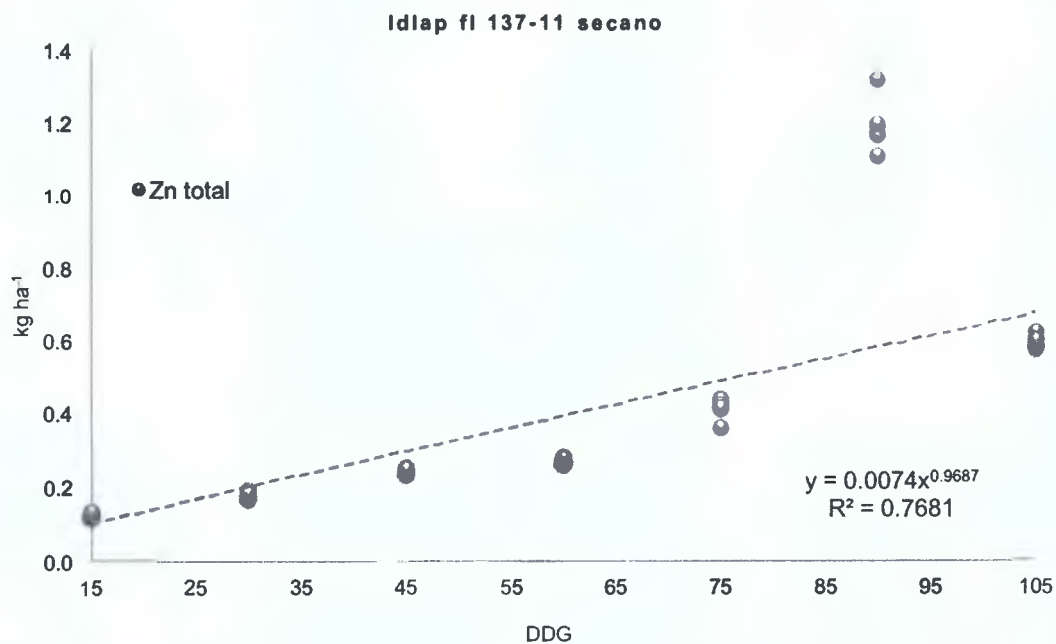


Figura 43. Gráfica de regresión de la extracción de zinc por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de secano.

2 3 Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 106 11 en un suelo Inceptisol bajo condiciones de riego

Los valores de extraccion total de nutrientes en las distintas etapas fenologicas del cultivo para la variedad IDIAP FL 106 11 bajo condiciones de riego se presentan en el Cuadro VIII los cuales son resultados medios provenientes de dos ciclos de cultivo La absorcion de nutrientes por la planta va aumentando en todo el ciclo vegetativo debido a su estrecha correlacion con la produccion de biomasa seca total

Cuadro VIII Extraccion total de nutrientes por etapa fenologica para la variedad IDIAP FL 106 11 bajo condiciones de riego

Sistema	Variedad	ddg	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
			kg ha ¹								
riego	IDIAP FL 106 11	15	6 7	0 7	6 5	1 4	0 2	0 05	0 05	0 01	0 00
		30	71 3	6 6	107 6	11 1	2 2	0 40	0 41	0 23	0 03
		45	99 0	10 6	120 8	21 8	5 2	0 90	0 66	0 17	0 07
		60	219 8	32 5	249 0	64 8	11 6	1 97	1 68	0 45	0 16
		75	277 1	45 0	336 7	119 6	16 4	4 02	2 70	1 33	0 30
		90	298 1	56 2	359 5	143 2	8 0	6 67	4 83	1 20	0 35
		105	266 8	61 1	299 6	158 8	7 9	5 08	4 59	1 36	0 34

a Curva de absorcion de nitrogeno

La absorcion de nitrogeno (Figura 44) va en incremento desde el inicio del cultivo hasta la etapa de floracion donde alcanza valores de 298 kg ha ¹ de alli decrece al llegar la maduracion del cultivo Se observa que la absorcion por la raiz se mantiene practicamente constante a lo largo del ciclo de cultivo La absorcion por el follaje al llegar la etapa de embuchamiento decrece mientras en el grano va aumentando llegando a acumular en ella hasta 97 kg ha ¹ indicando la gran movilidad del N hacia la panícula

La extracción de nitrógeno por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 91% en la ecuación de regresión (Figura 45).

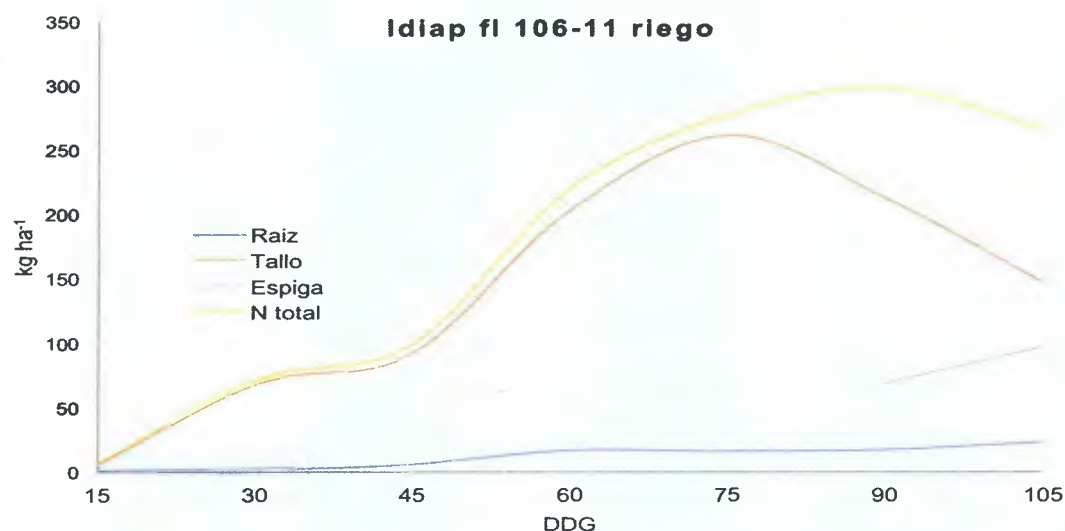


Figura 44. Curva de absorción de nitrógeno en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

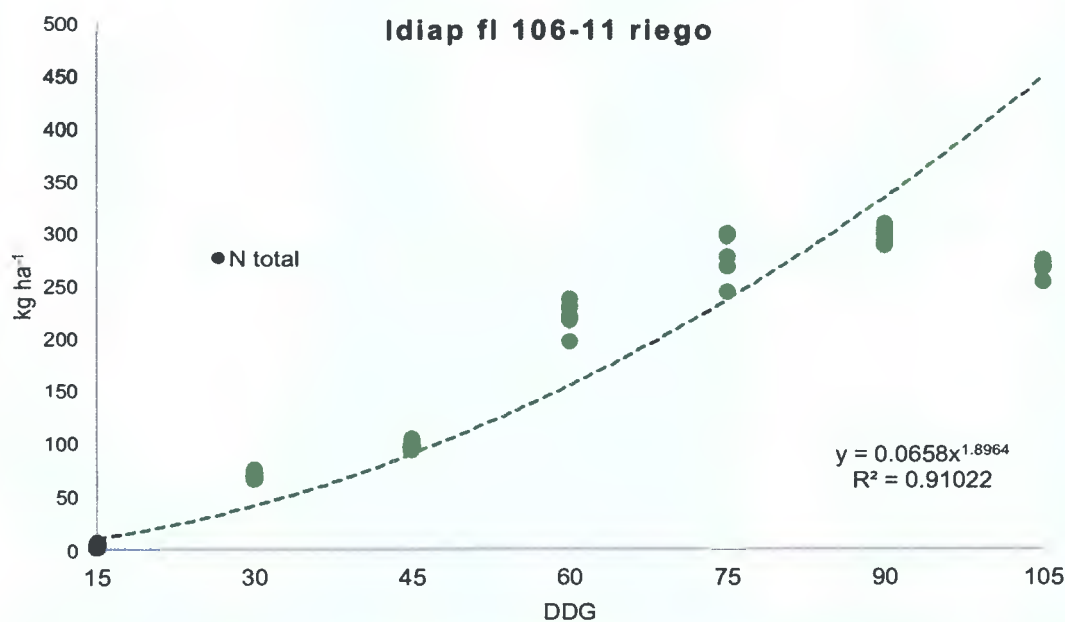


Figura 45. Gráfica de regresión de la extracción de nitrógeno por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

b. Curva de absorción de fósforo

La absorción de fósforo (Figura 46), muestra un aumento desde el inicio del desarrollo vegetativo hasta el inicio de macollamiento, donde se mantiene constante hasta llegar al máximo macollamiento y el luego hay un incremento hasta llegada la maduración donde se acumulan unos 61 kg ha⁻¹. La extracción por la raíz se mantiene baja hasta el máximo macollamiento, donde tiene un incremento constante a través del tiempo. La extracción por el follaje decrece al llegar la etapa de embuchamiento. La extracción por la espiga aumenta rápidamente acumulando 31 kg ha⁻¹, indicando la gran movilidad de este elemento hacia el llenado de grano.

La extracción de fósforo por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 97% en la ecuación de regresión (Figura 47).

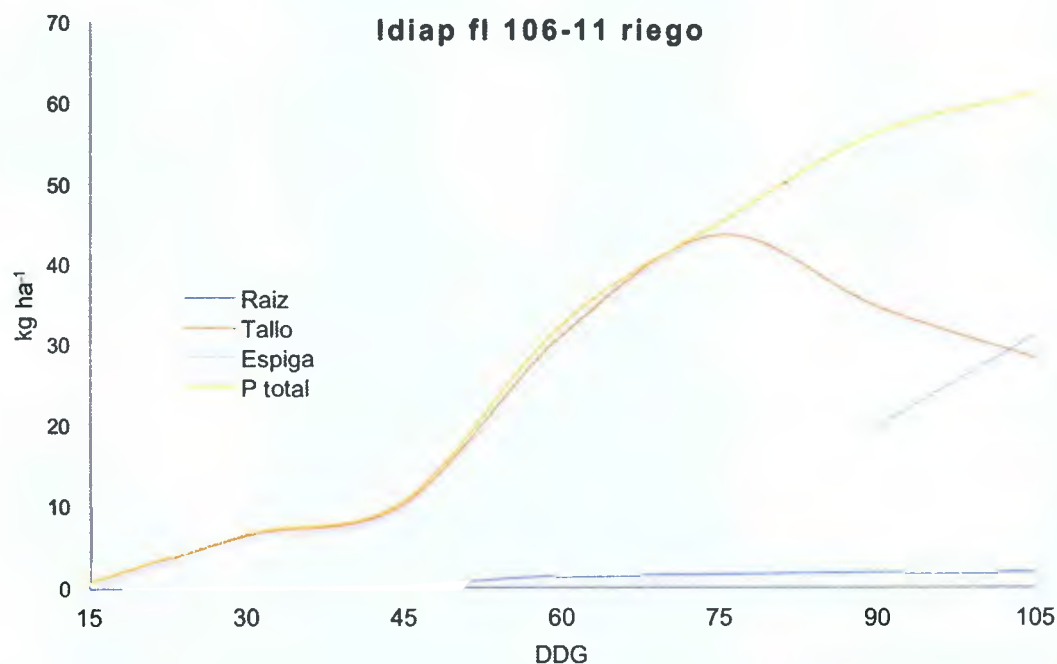


Figura 46. Curva de absorción de fósforo en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

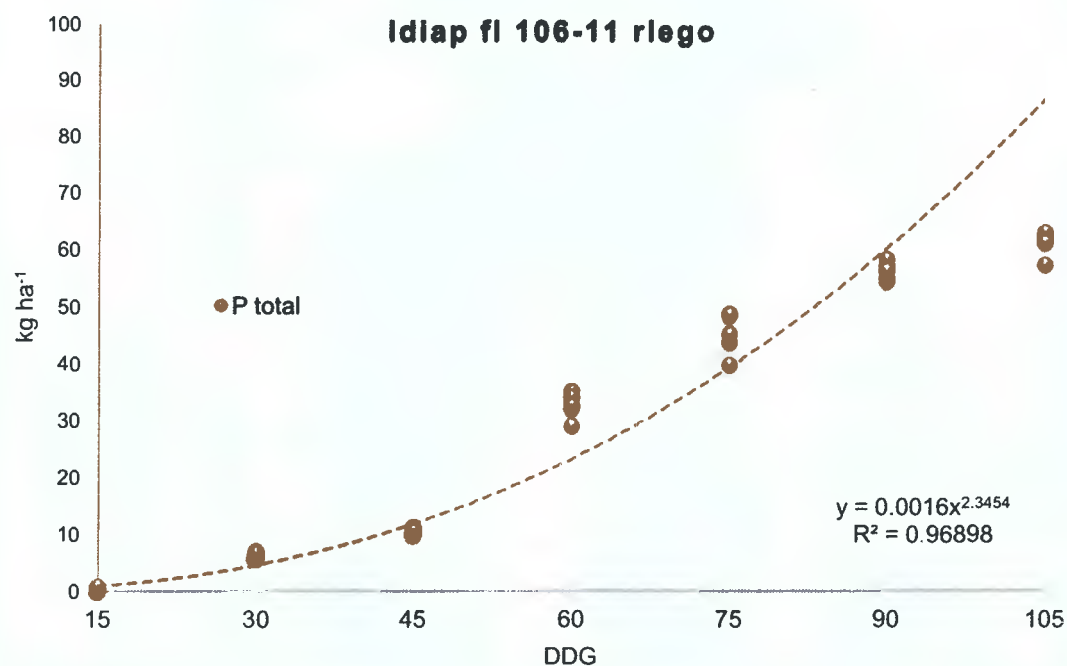


Figura 47. Gráfica de regresión de la extracción de fósforo por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

c. Curva de absorción de potasio

La absorción de potasio (Figura 48), presenta un incremento desde el inicio del cultivo hasta el inicio de macollamiento, luego se mantiene estable hasta llegada la etapa de máximo macollamiento, de allí se dispara alcanzando un pico de 359 kg ha⁻¹ en la floración y decrece al llegar la maduración del cultivo. Se observa que la absorción por la raíz se mantiene prácticamente constante a lo largo del ciclo de cultivo. La absorción por el follaje mantiene el mismo comportamiento que la absorción total de K, llegando a acumular 337 kg ha⁻¹, mientras que la espiga acumula unos 59 kg ha⁻¹.

La extracción de potasio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 84% en la ecuación de regresión (Figura 49).

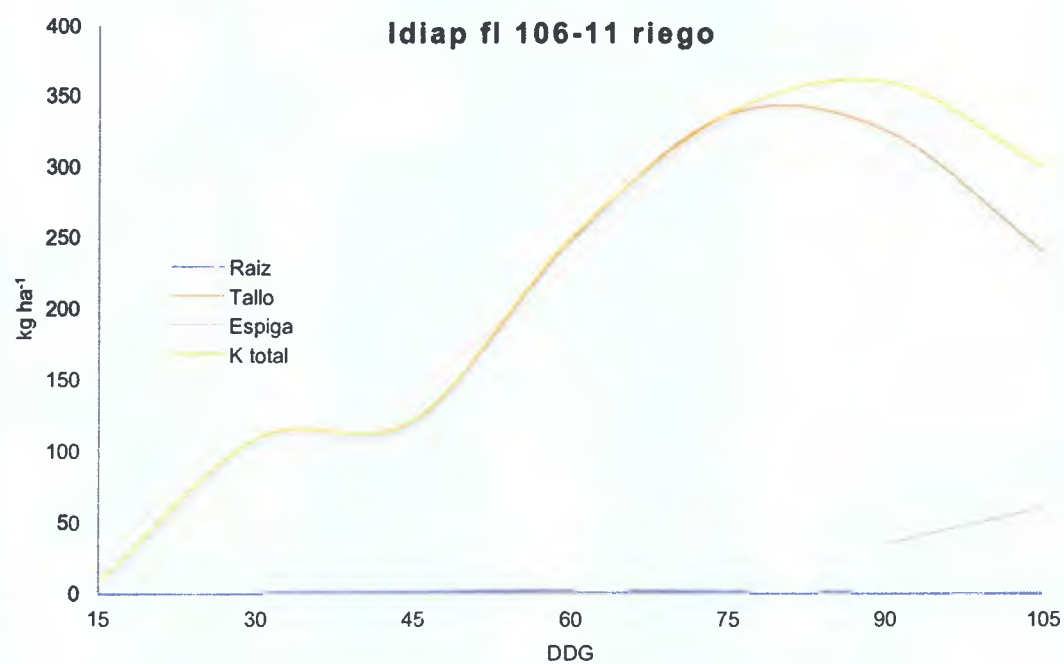


Figura 48. Curva de absorción de potasio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

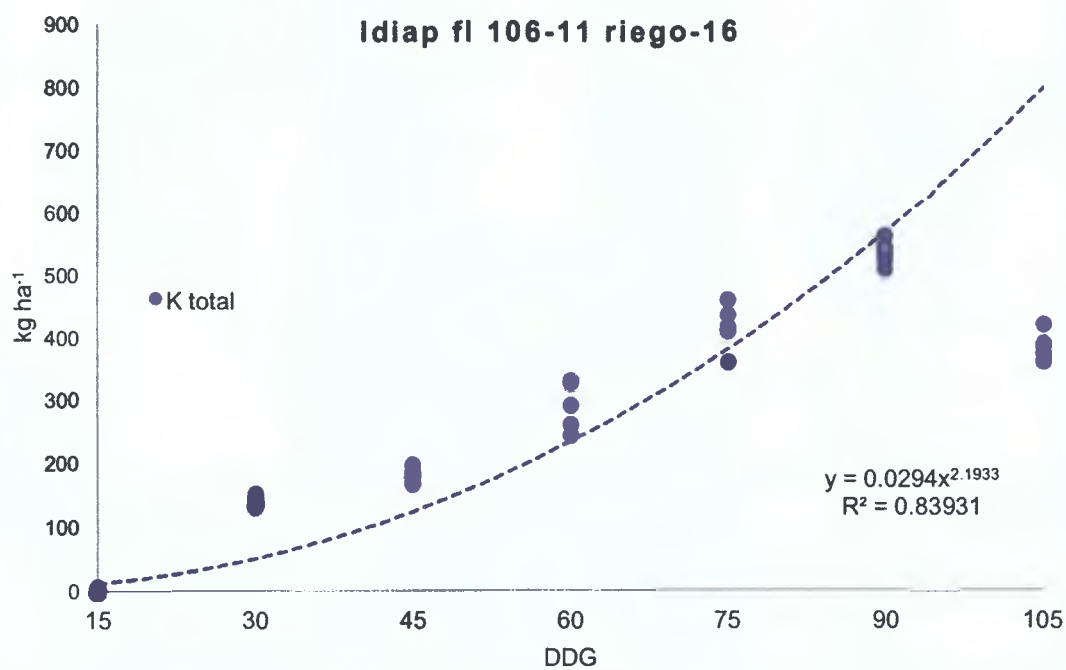


Figura 49. Gráfica de regresión de la extracción de potasio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

d. Curva de absorción de calcio

La absorción de calcio (Figura 50), presenta un incremento desde el inicio del cultivo hasta la etapa de máximo macollamiento, luego hay un rápido incremento hasta llegada la maduración, alcanzando su máxima extracción de Ca (159 kg ha^{-1}). La extracción de calcio por la raíz va aumentando a medida que transcurre el tiempo, acumulando unos 17 kg ha^{-1} . En el follaje la extracción va aumentando en forma similar a la extracción total hasta la floración y allí se mantiene constante hasta que llega la etapa de maduración. La espiga va acumulando el Ca hasta alcanzar los 35 kg ha^{-1} .

La extracción de calcio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste muy bueno de 98% en la ecuación de regresión (Figura 51).

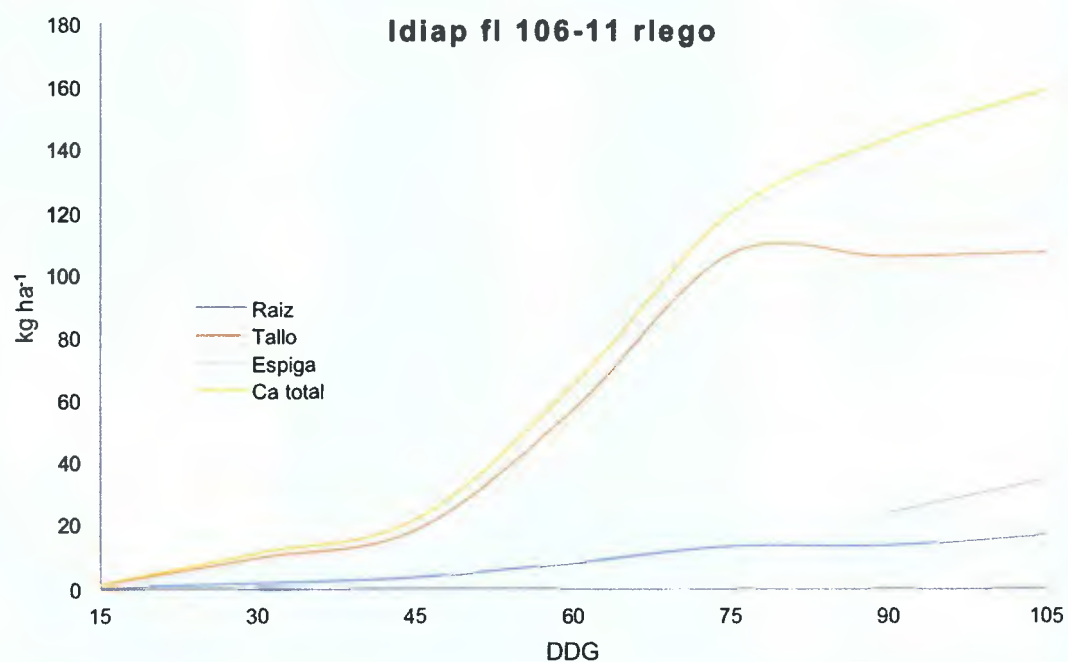


Figura 50. Curva de absorción de calcio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

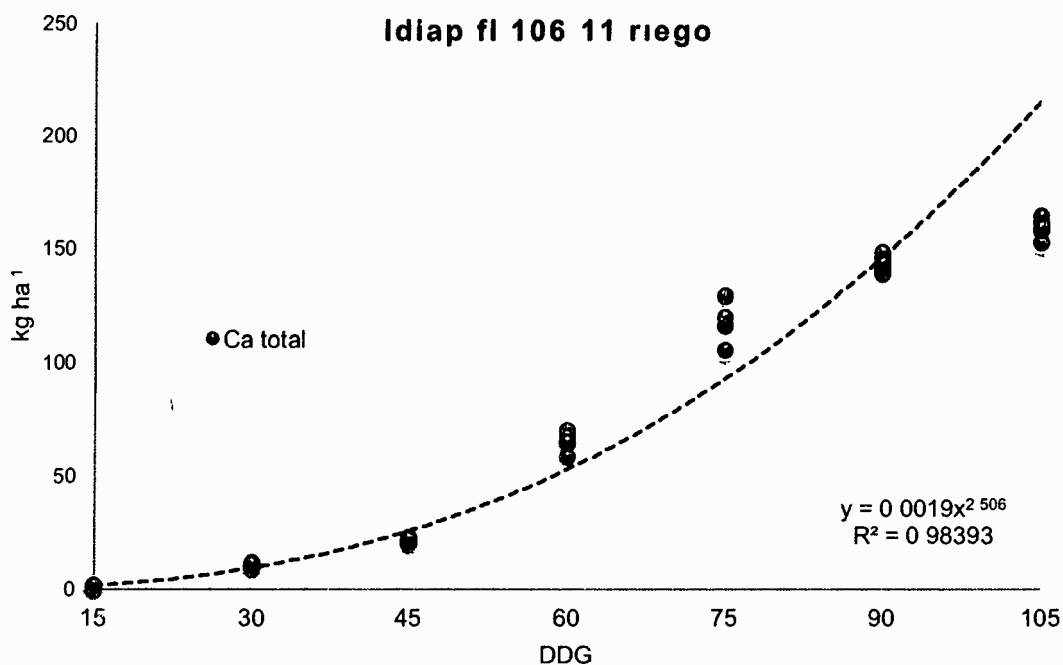


Figura 51 Grafica de regresion de la extraccion de calcio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego

e Curva de absorcion de magnesio

La absorcion de magnesio (Figura 52) presenta un incremento lineal desde el inicio del desarrollo vegetativo hasta llegada la etapa de embuchamiento donde acumula unos 16 kg ha⁻¹ luego decrece llegada la floracion y se mantiene hasta la maduracion. La extraccion por la raiz va aumentando hasta el primordio floral donde decrece para luego volver a incrementar en la floracion y de allí se mantiene hasta la maduracion acumulando 1.9 kg ha⁻¹. En el follaje la extraccion va aumentando en forma similar a la extraccion total hasta la etapa de embuchamiento donde decrece rapidamente hasta llegar a la etapa de maduracion del cultivo. La espiga va acumulando el Mg hasta alcanzar los 5.7 kg ha⁻¹.

La extraccion de magnesio por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 82% en la ecuacion de regresion (Figura 53)

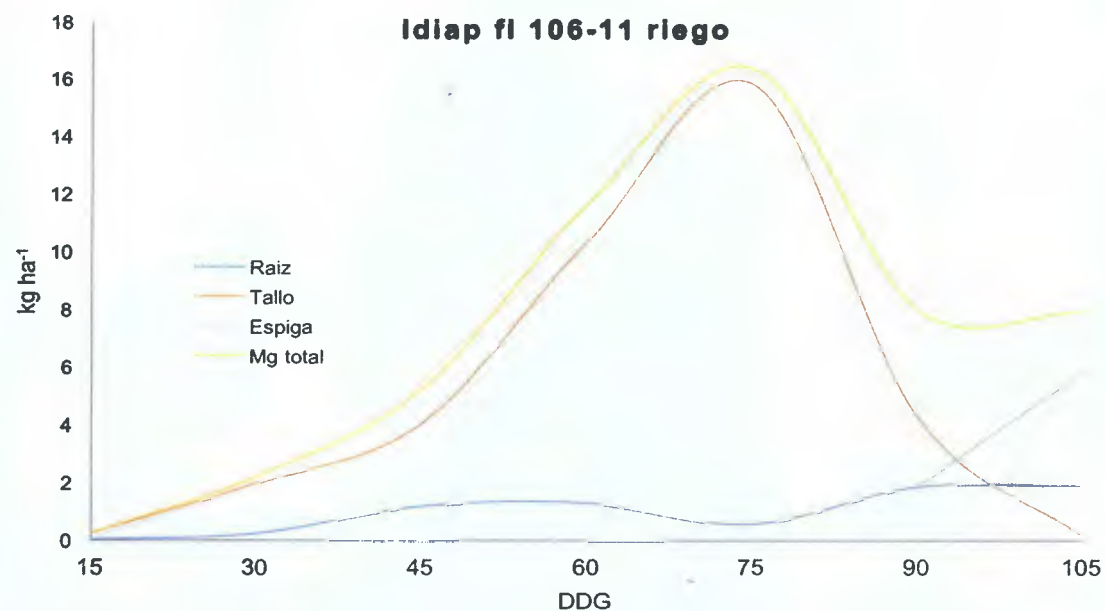


Figura 52. Curva de absorción de magnesio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

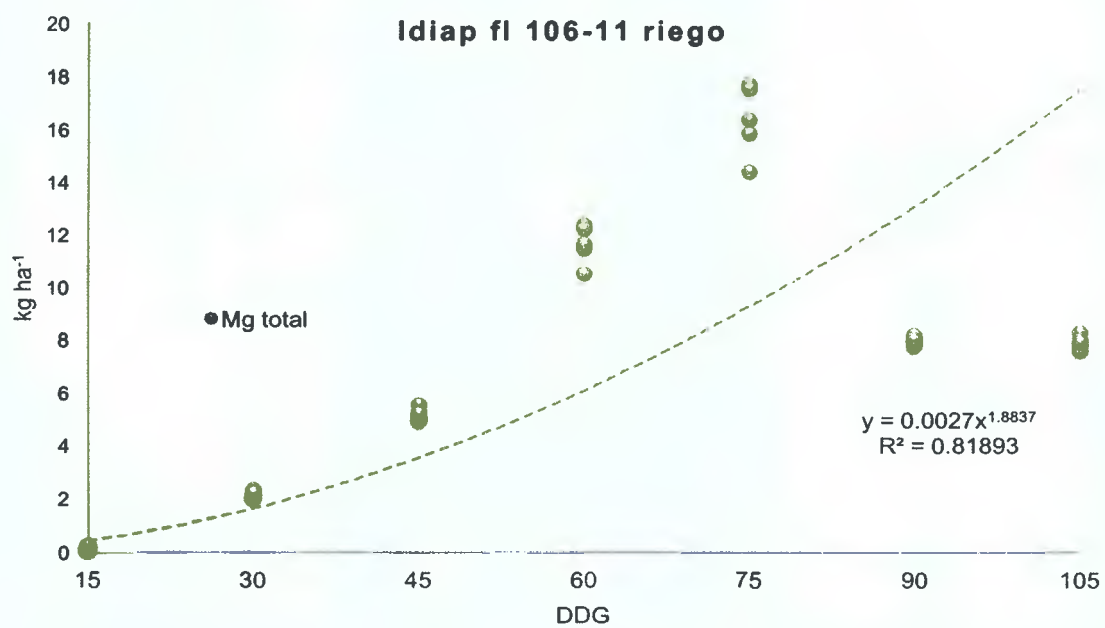


Figura 53. Gráfica de regresión de la extracción de magnesio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

f. Curva de absorción de manganeso

La absorción de manganeso (Figura 54), es constante desde el inicio del cultivo hasta la etapa floración, donde alcanza la máxima extracción con 6.7 kg ha^{-1} y luego decrece al llegar a la etapa de maduración del cultivo. La extracción de manganeso por la raíz va en incremento constante a medida que transcurre el tiempo. La extracción por el follaje presenta una tendencia similar a la extracción total, con un máximo de 5.5 kg ha^{-1} en la etapa de floración. En la espiga se acumulan unos 0.4 kg ha^{-1} de manganeso.

La extracción de manganeso por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 98% en la ecuación de regresión (Figura 55).

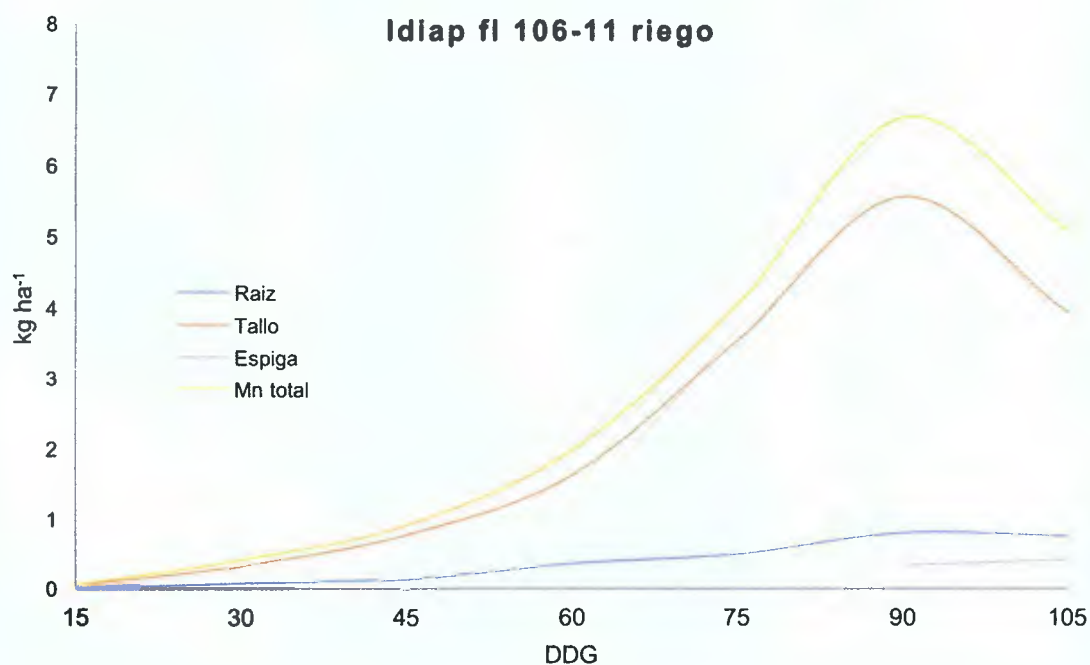


Figura 54. Curva de absorción de manganeso en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

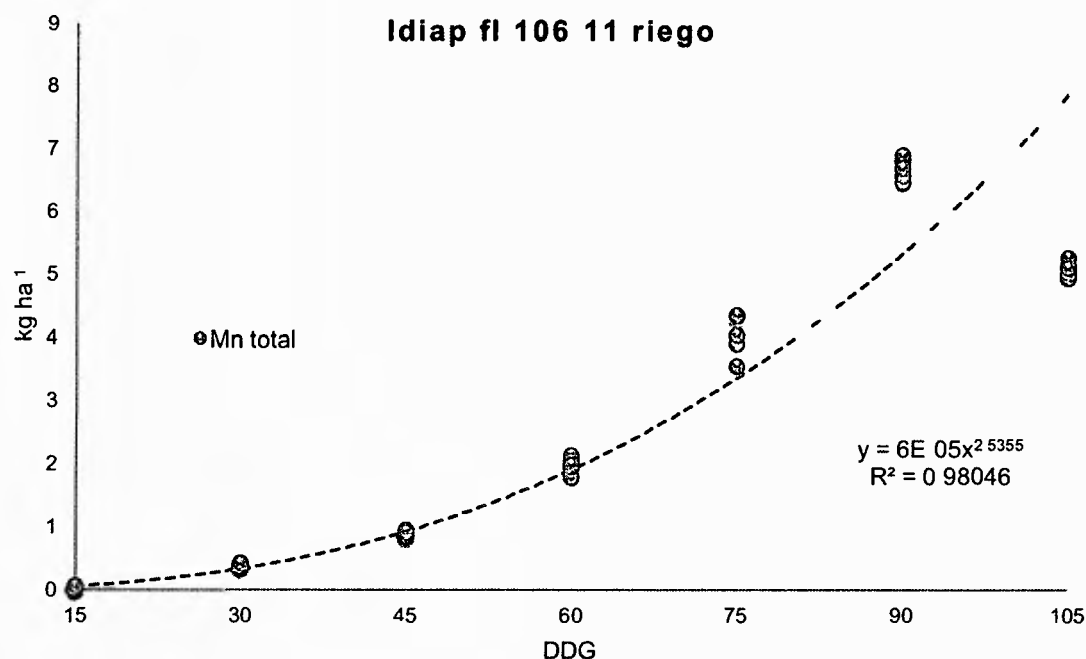


Figura 55 Grafica de regresion de la extraccion de manganeso por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego

g Curva de absorcion de hierro

La absorcion de hierro (Figura 56) va en aumento desde el inicio del cultivo hasta la etapa de floracion donde acumula 4.6 kg ha⁻¹ y luego decrece al llegar la maduracion. La mayor cantidad de hierro es extraída por la raíz alcanzando hasta 3.8 kg ha⁻¹ en la etapa de floracion con un comportamiento similar a la extraccion total descrita anteriormente. La extraccion por el follaje se mantiene estable desde el inicio hasta llegar al primordio floral donde se incrementa al llegar a la floracion decreciendo hasta la maduracion. La extraccion por la espiga se mantiene constante desde la floracion hasta la maduracion.

La extraccion de hierro por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 98% en la ecuacion de regresion (Figura 57)

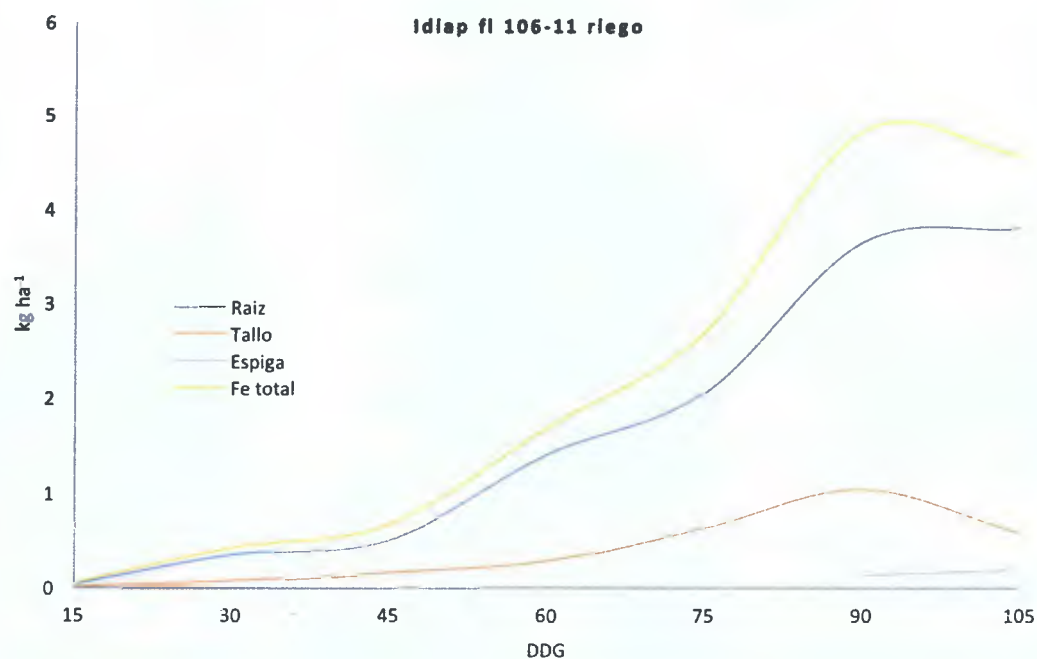


Figura 56. Curva de absorción de hierro en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

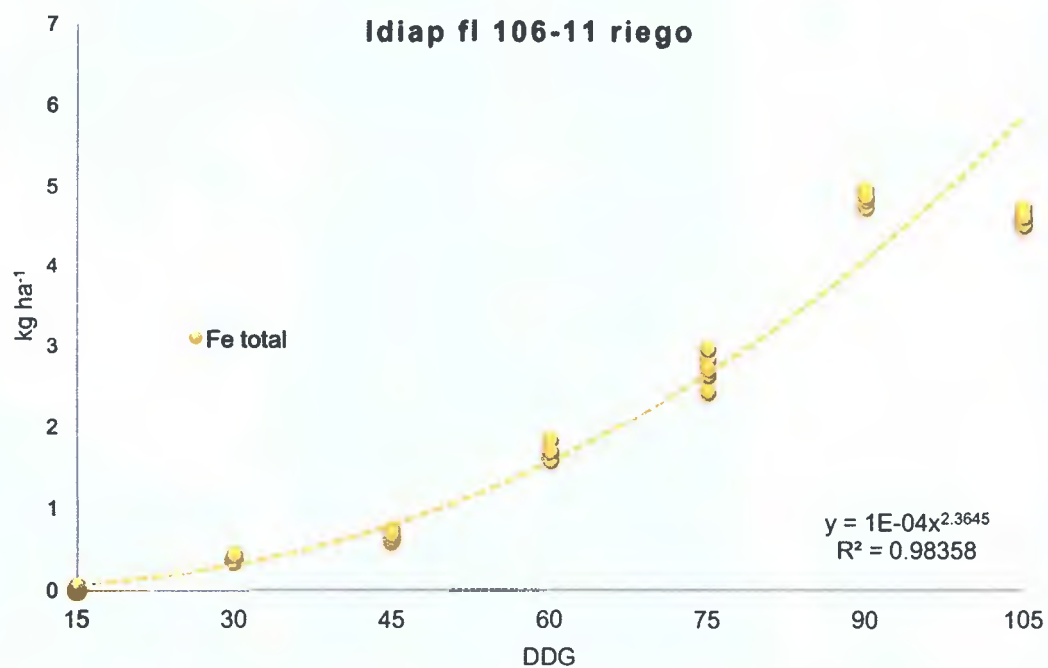


Figura 57. Gráfica de regresión de la extracción de hierro por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

h. Curva de absorción de cobre

La absorción de cobre (Figura 58), presenta un incremento constante desde el inicio del cultivo hasta la etapa de floración del cultivo (0.35 kg ha^{-1}) y allí se mantiene hasta llegar a la maduración del cultivo. La extracción de cobre por la raíz aumenta hasta llegar a la etapa del primordio floral (0.1 kg ha^{-1}) y allí comienza a decrecer hasta la maduración del cultivo. En el follaje, la extracción presenta un comportamiento similar a la extracción total de cobre. La extracción por la espiga aumenta desde la floración hasta la maduración.

La extracción de cobre por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 98% en la ecuación de regresión (Figura 59).

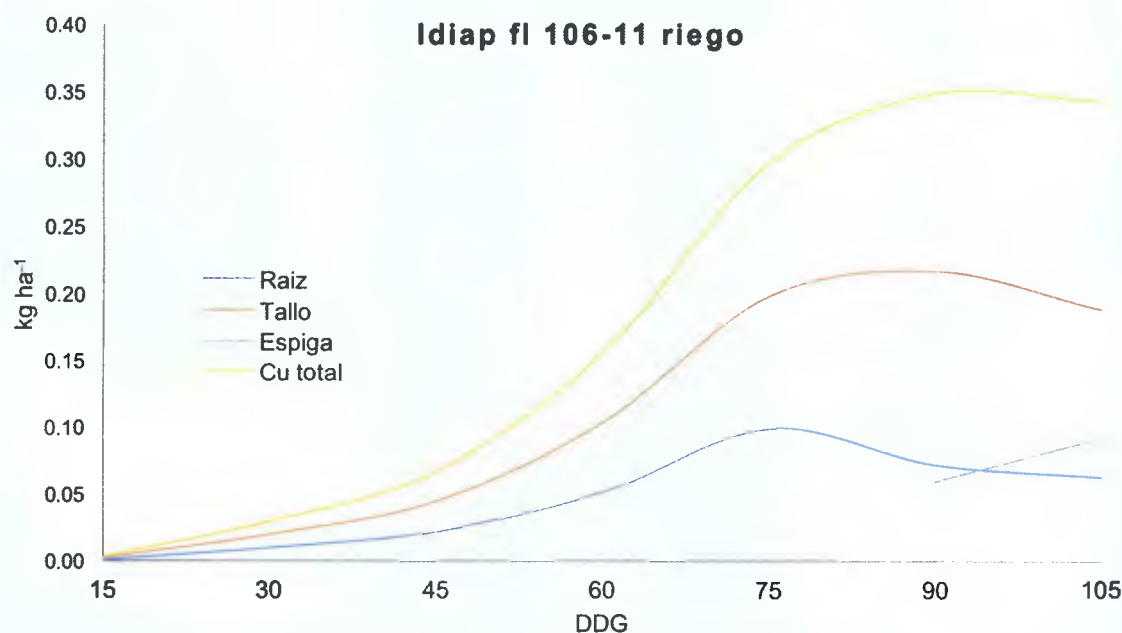


Figura 58. Curva de absorción de cobre en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

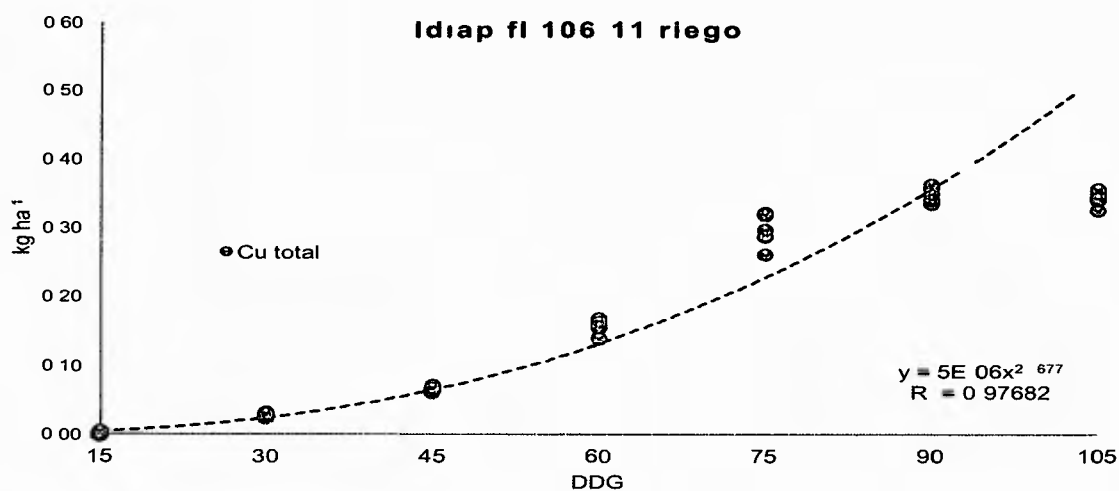


Figura 59 Grafica de regresion de la extraccion de cobre por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 106 11 en condiciones de riego

1 Curva de absorcion de zinc

La curva de absorcion de zinc (Figura 60) presenta un incremento desde el inicio del desarrollo vegetativo hasta el inicio de macollamiento donde luego tiene un decrecimiento llegado la etapa de maximo macollamiento y de alli se dispara hasta llegar a la etapa de embuchamiento decrece en la floracion y vuelve a aumentar en la maduracion del cultivo acumulando un maximo de 12 kg ha⁻¹. La extraccion por el follaje presenta un comportamiento similar a la extraccion de Zn total. La extraccion por la raiz es casi constante desde el inicio hasta llegar el primordio floral donde comienza su crecimiento alcanzando un pico en el embuchamiento y luego decrece hasta llegar a la maduracion del cultivo. La extraccion por la espiga se mantiene casi constante desde la floracion hasta llegada la maduracion.

La extraccion de zinc por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 91% en la ecuacion de regresion (Figura 61).

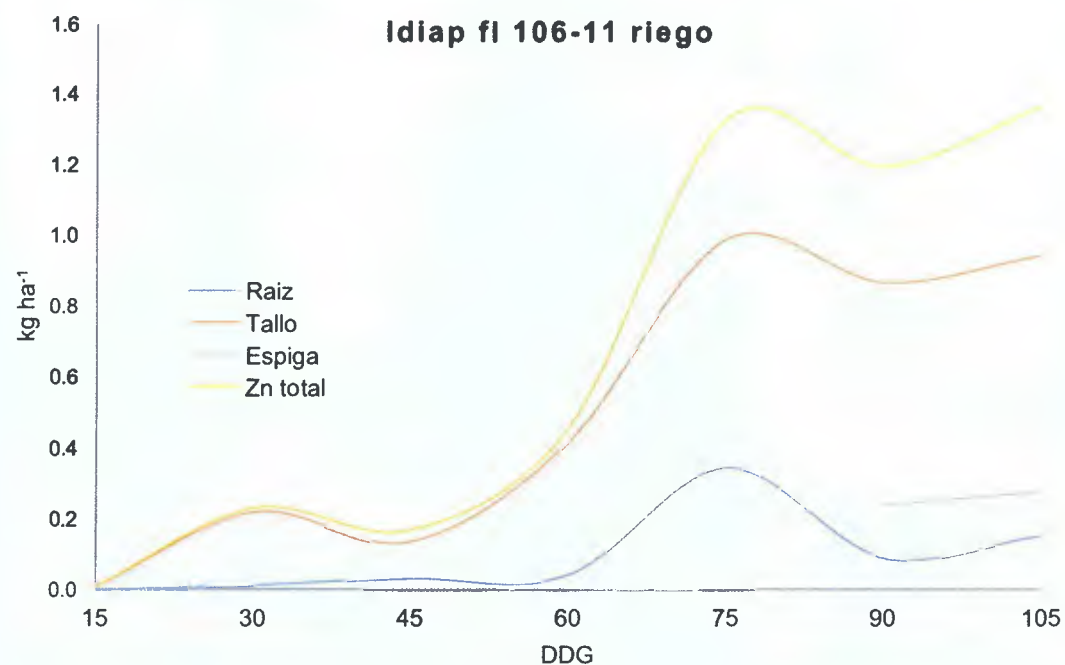


Figura 60. Curva de absorción de zinc en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

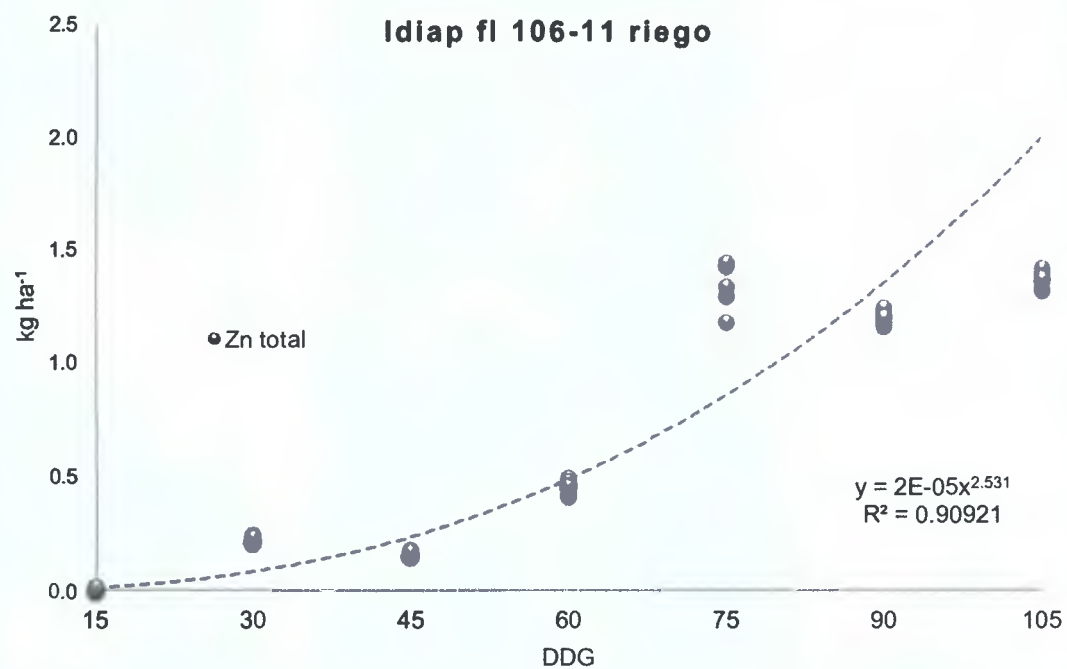


Figura 61. Gráfica de regresión de la extracción de zinc por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 106-11 en condiciones de riego.

2 4 Curva de absorcion de nutriente de la variedad IDIAP FL 137 11 en un suelo Inceptisol bajo condiciones de riego

Los valores de extraccion total de nutrientes en las distintas etapas fenologicas del cultivo para la variedad IDIAP FL 137 11 bajo condiciones de riego se presentan en el Cuadro IX los cuales son resultados medios provenientes de dos ciclos de cultivo La absorcion de nutrientes por la planta va aumentando en todo el ciclo vegetativo debido a su estrecha correlacion con la produccion de biomasa seca total

Cuadro IXX Extraccion total de nutrientes por etapa fenologica para la variedad IDIAP FL 137-11 bajo condiciones de riego

Sistema	Variedad	ddg	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
			kg ha ⁻¹								
riego	IDIAP FL 137 11	15	3 2	0 9	3 0	0 5	0 1	0 02	0 03	0 01	0 02
		30	60 8	5 6	90 9	9 5	0 2	0 38	0 28	0 07	0 03
		45	195 7	17 1	186 1	51 4	1 2	1 06	1 61	0 47	0 15
		60	119 9	40 2	130 5	96 6	4 0	2 88	1 81	0 60	0 20
		75	123 3	50 5	145 3	143 0	21 2	4 32	2 83	0 86	0 28
		90	192 2	51 0	212 9	172 9	9 6	6 10	5 95	1 15	0 32
		105	167 4	68 5	157 0	152 4	16 7	4 39	2 23	0 91	0 25

a Curva de absorcion de nitrogeno

La absorcion de nitrogeno (Figura 62) presenta dos picos de absorcion ubicandose en el maximo macollamiento y en la floracion donde acumula unos 167 kg ha⁻¹ La absorcion por la raiz se incrementa al llegar al maximo macollamiento y luego se mantiene constante a lo largo del ciclo de cultivo La absorcion por el follaje muestra su maxima absorcion en el maximo macollamiento del cultivo En el grano va aumentando desde la floracion hasta la maduracion llegando a acumular hasta 104 kg ha⁻¹

La extracción de nitrógeno por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 75% en la ecuación de regresión (Figura 63).

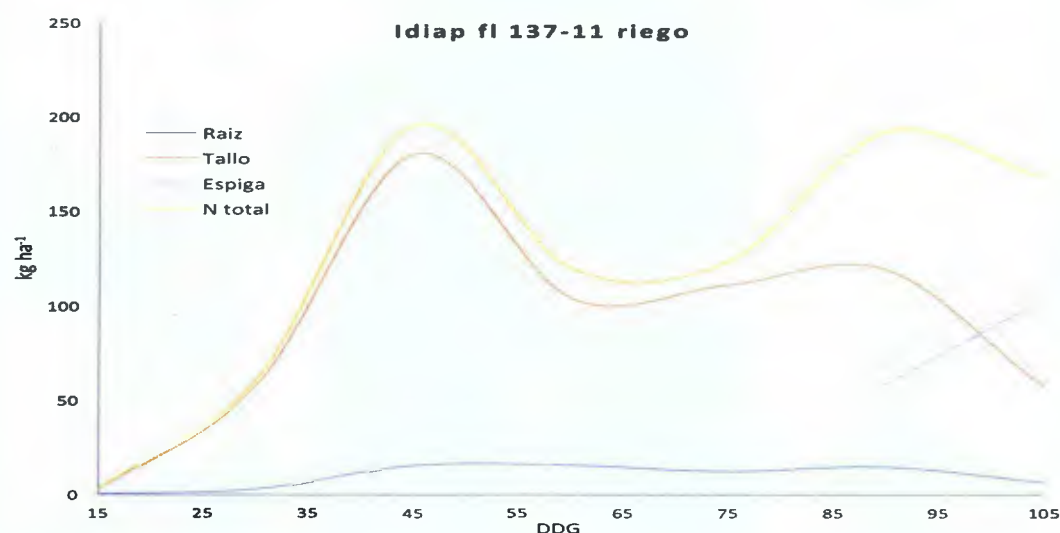


Figura 62. Curva de absorción de nitrógeno en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

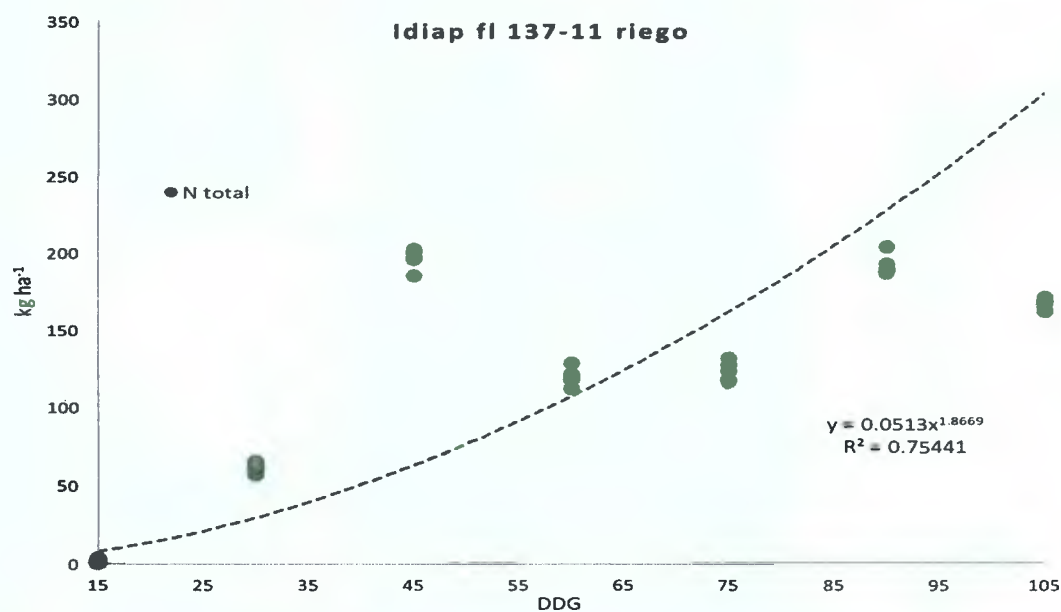


Figura 63. Gráfica de regresión de la extracción de nitrógeno por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

b. Curva de absorción de fósforo

La absorción de fósforo (Figura 64), muestra un incremento lineal desde el inicio del desarrollo vegetativo hasta el inicio de primordio, allí se mantiene constante hasta la floración y se dispara hasta acumular unos 68 kg ha⁻¹ en el periodo de maduración. La extracción por la raíz se mantiene constante a través del tiempo. La extracción por el follaje crece hasta llegar al embuchamiento, luego baja rápidamente. La extracción por la espiga tiene un rápido incremento desde la floración hasta la maduración, donde acumula hasta 49 kg de P ha⁻¹.

La extracción de fósforo por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 97% en la ecuación de regresión (Figura 65).

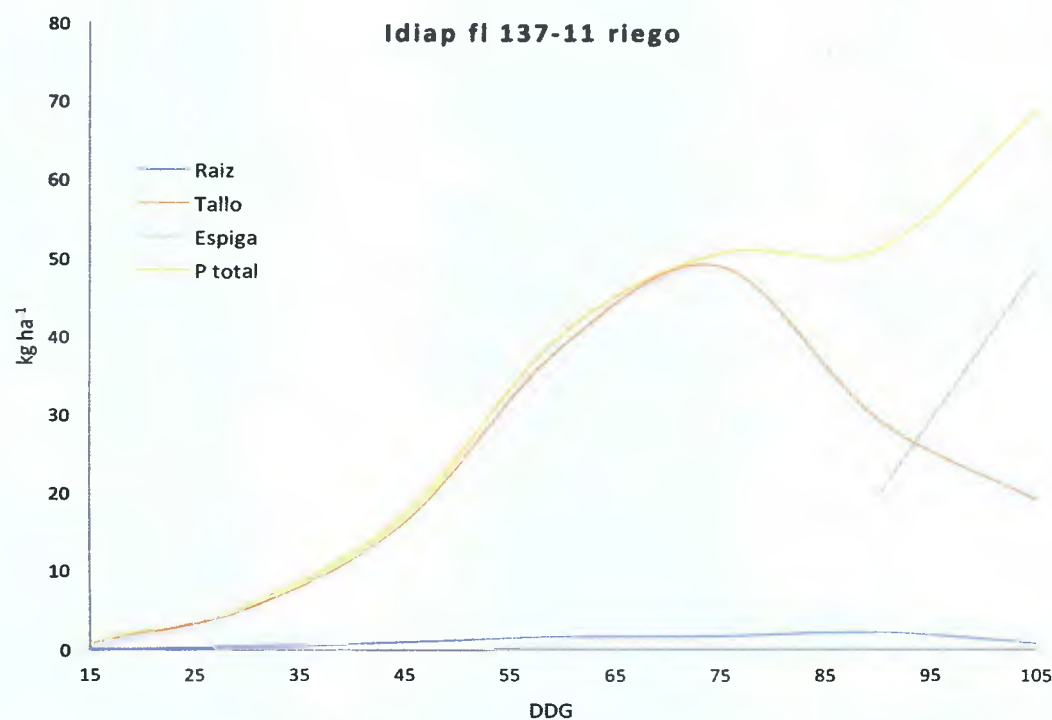


Figura 64. Curva de absorción de fósforo en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

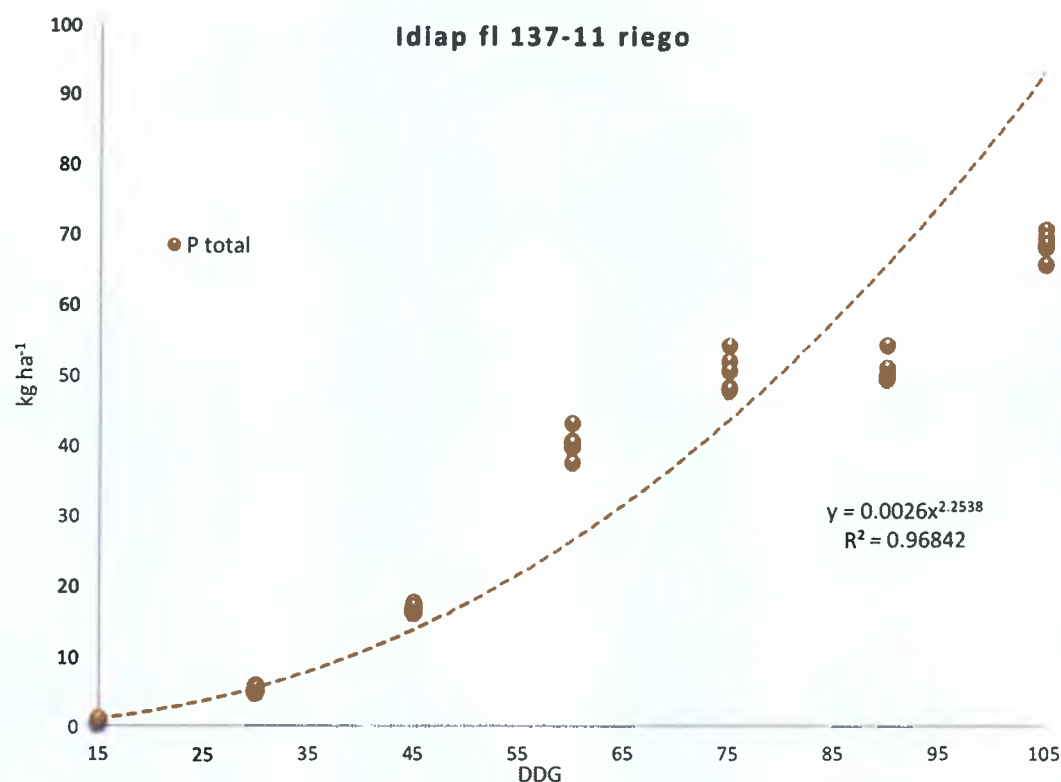


Figura 65. Gráfica de regresión de la extracción de fósforo por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

c. Curva de absorción de potasio

La absorción de potasio (Figura 66), presenta dos picos de absorción, ubicándose en el máximo macollamiento y en la floración, donde acumula unos 213 kg ha⁻¹ en esta etapa. La absorción por la raíz se mantiene constante a lo largo del ciclo de cultivo. La absorción por el follaje muestra una tendencia similar a la absorción total de K, acumulando su máxima absorción en el máximo macollamiento del cultivo con unos 184 kg ha⁻¹. En el grano va aumentando desde la floración hasta la maduración, llegando a acumular 63 kg ha⁻¹.

La extracción de potasio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 71% en la ecuación de regresión (Figura 67).

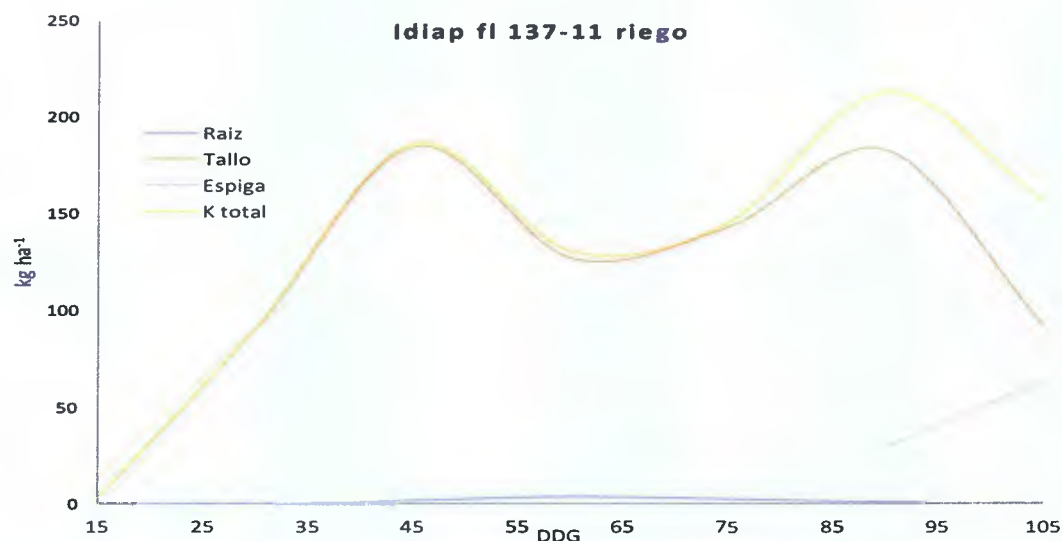


Figura 66. Curva de absorción de potasio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

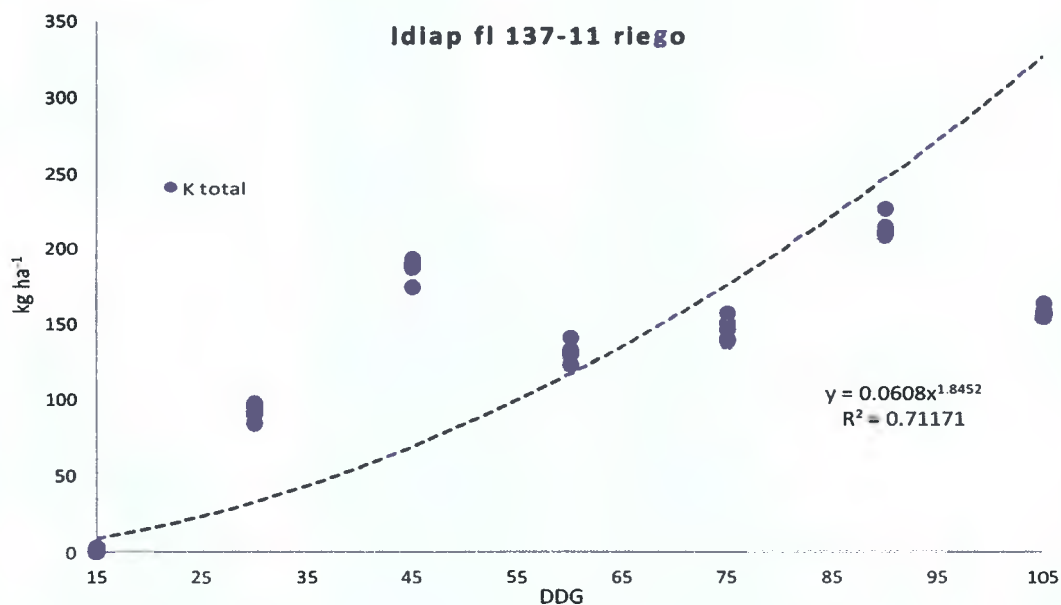


Figura 67. Gráfica de regresión de la extracción de potasio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

d. Curva de absorción de calcio

La absorción de calcio (Figura 68), presenta un incremento al inicio, luego a partir del inicio de macollamiento aumenta rápidamente hasta llegar a la floración donde está la máxima absorción total con 129 kg ha^{-1} . La extracción de calcio por la raíz va aumentando a medida que transcurre el tiempo, acumulando unos 20 kg ha^{-1} en la etapa de floración. En el follaje la extracción va aumentando en forma similar a la extracción total hasta llegar a la etapa de embuchamiento, luego decrece. La espiga va acumulando la absorción de Ca hasta alcanzar los 50 kg ha^{-1} .

La extracción de calcio por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste muy bueno de 93% en la ecuación de regresión (Figura 69).

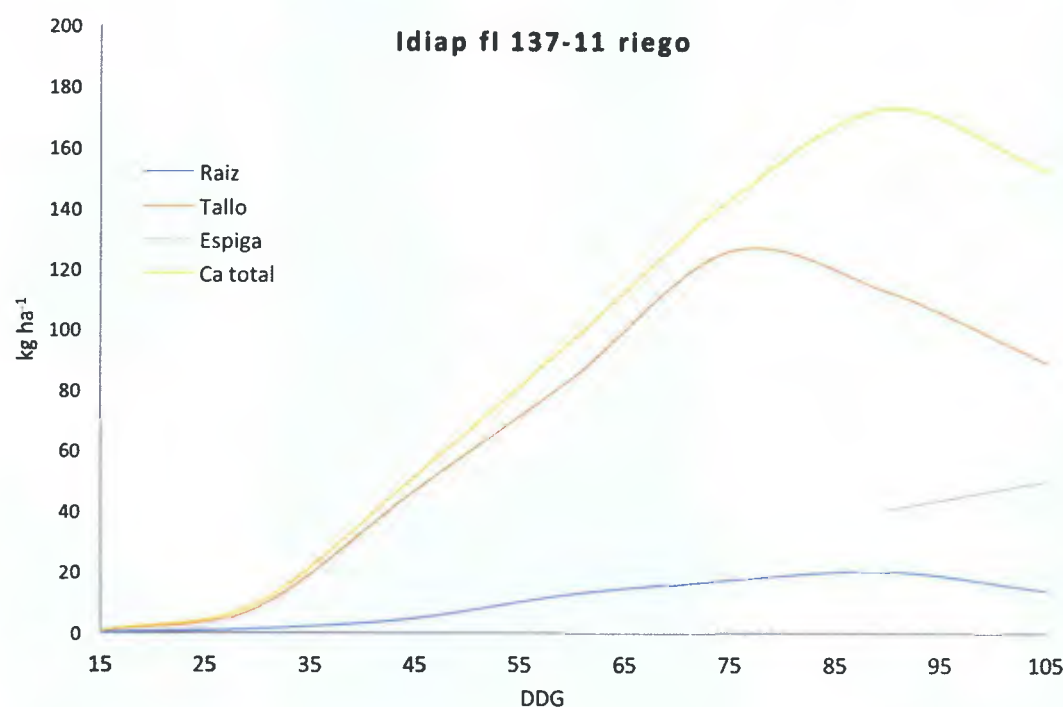


Figura 68. Curva de absorción de calcio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

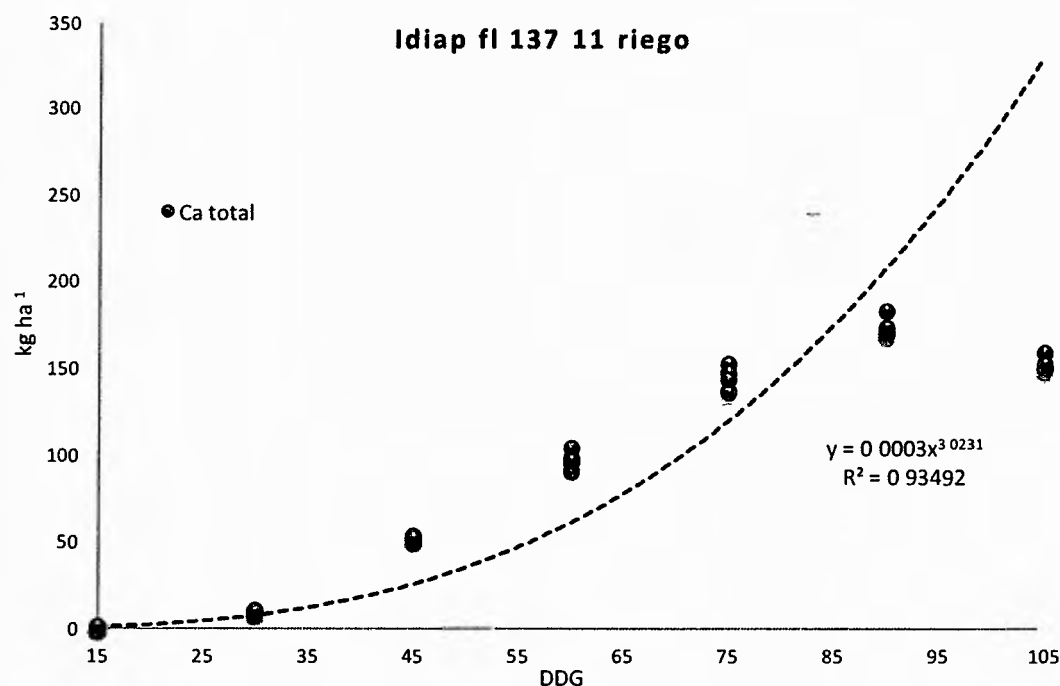


Figura 69 Grafica de regresion de la extraccion de calcio por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego

e Curva de absorcion de magnesio

La absorcion de magnesio (Figura 70) crece hasta el inicio del primordio floral de alli se dispara hasta alcanzar su maxima absorcion en la etapa de embuchamiento con 21 kg ha⁻¹ de aqui comienza a decrecer en la floracion y tiene otro incremento llegada la maduracion La extraccion por la raiz aumenta en el maximo macollamiento y de alli se mantiene constante hasta el embuchamiento donde declina y vuelve a subir en las etapas finales del cultivo En el follaje la extraccion tiene un comportamiento similar a la extraccion total de Mg La espiga va acumulando el Mg hasta alcanzar los 8.5 kg ha⁻¹

La extraccion de magnesio por etapa fenologica muestra una tendencia potencial con un buen ajuste de 96% en la ecuacion de regresion (Figura 71)

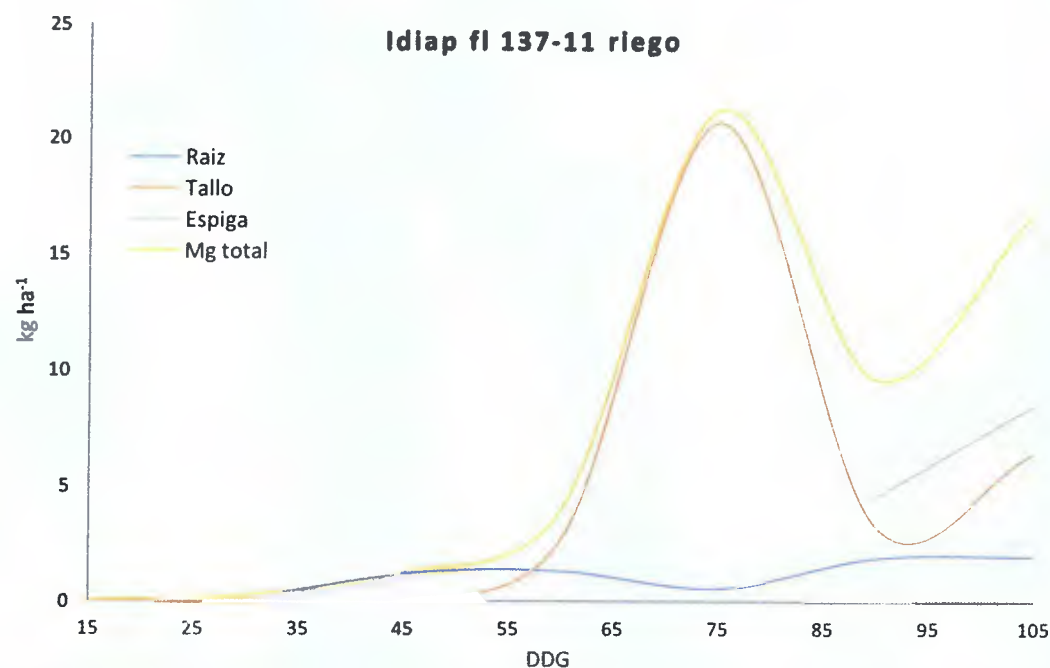


Figura 70. Curva de absorción de magnesio en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

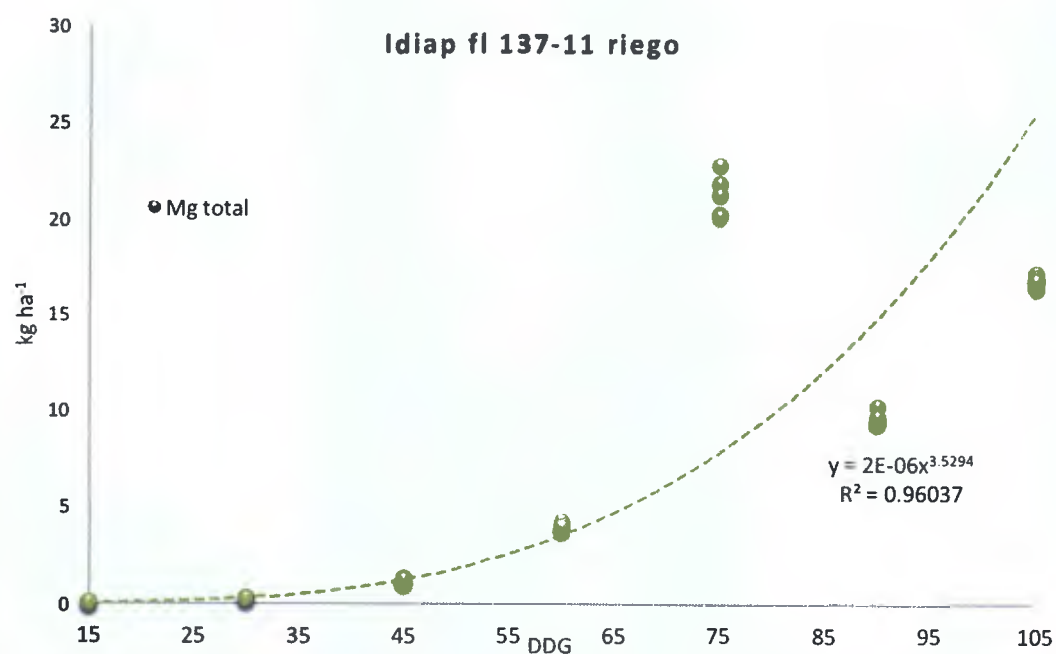


Figura 71. Gráfica de regresión de la extracción de magnesio por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

f. Curva de absorción de manganeso

La absorción de manganeso (Figura 72), crece desde el inicio del cultivo hasta el máximo macollamiento, allí se acelera hasta la floración donde se acumulan 6.1 kg ha^{-1} , luego baja en la etapa final del cultivo. La extracción de manganeso por la raíz tiene un punto de máxima acumulación en la etapa de floración, acumulando 1 kg ha^{-1} . La extracción por el follaje tiene una tendencia similar a la extracción total. En la espiga se acumulan unos 0.5 kg ha^{-1} de manganeso.

La extracción de manganeso por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 95% en la ecuación de regresión (Figura 73).

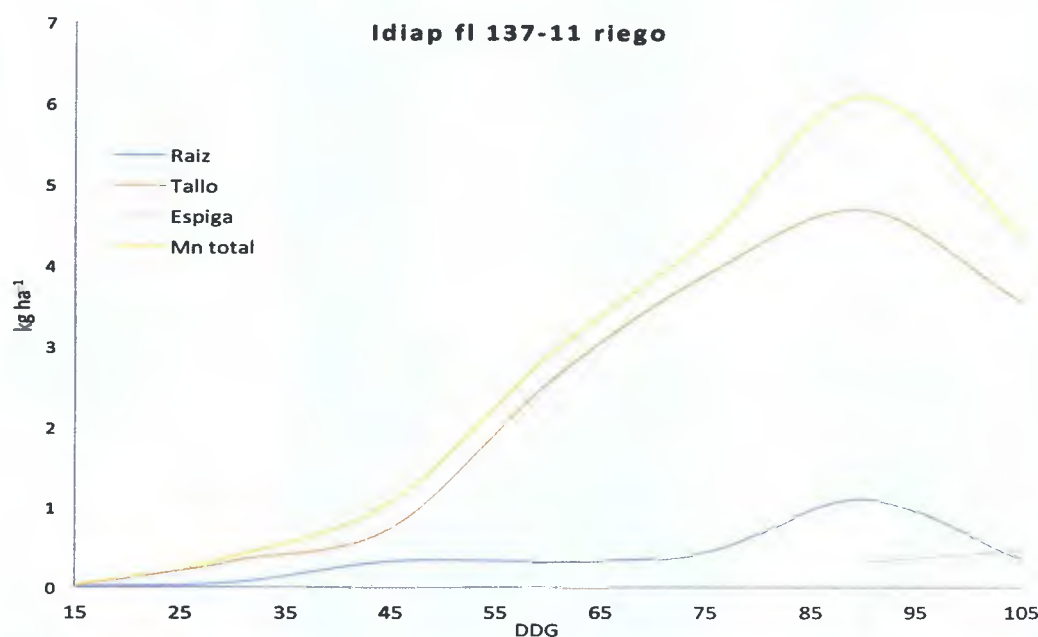


Figura 72. Curva de absorción de manganeso en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

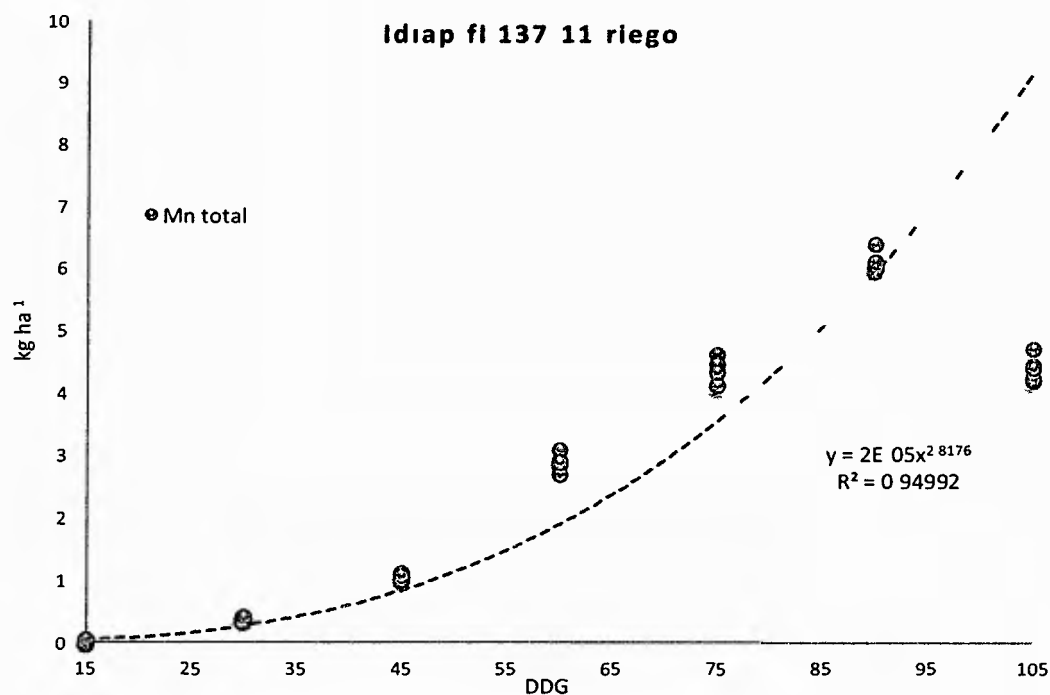


Figura 73 Grafica de regresion de la extraccion de manganeso por etapa fenologica en la variedad IDIAP FL 137 11 en condiciones de riego

g Curva de absorcion de hierro

La absorcion de hierro (Figura 74) muestra un aumento desde el inicio de macollamiento hasta el maximo macollamiento luego se mantiene constante hasta llegar a la etapa de embuchamiento de alli presenta un rapido incremento hasta alcanzar su maxima extraccion en la etapa de floracion (6 kg ha⁻¹) para decrecer al llegar la maduracion. La mayor cantidad de hierro es extraida por la raiz alcanzando hasta 5 kg ha⁻¹ en la etapa de floracion con un comportamiento similar a la extraccion total descrita anteriormente. La extraccion por el follaje se incrementa hasta llegar a la floracion luego decrece hasta la maduracion. La extraccion por la espiga se mantiene constante desde la floracion hasta la maduracion.

La extracción de hierro por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 89% en la ecuación de regresión (Figura 75).

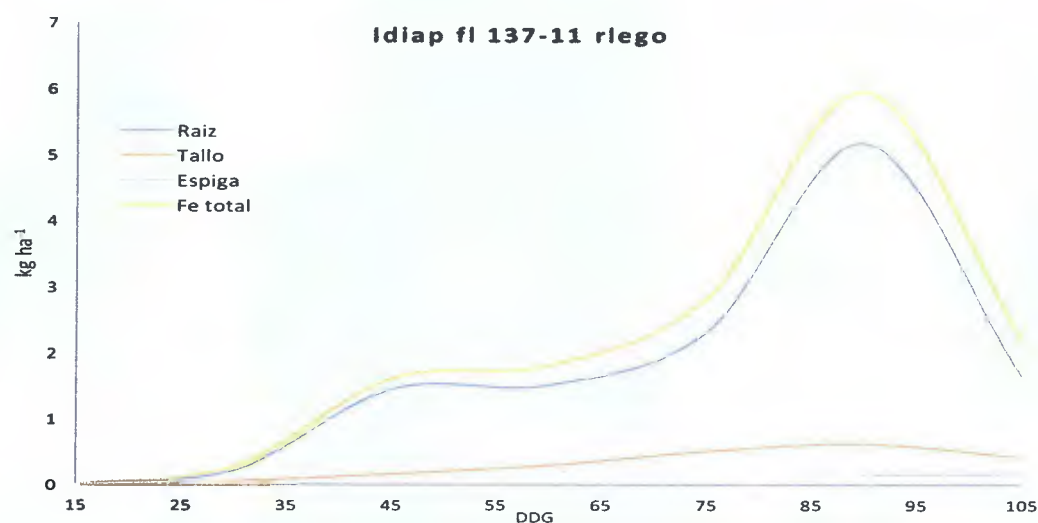


Figura 74. Curva de absorción de hierro en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.



Figura 75. Gráfica de regresión de la extracción de hierro por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

h. Curva de absorción de cobre

La absorción de cobre (Figura 76), empieza a crecer a partir del inicio de macollamiento hasta llegar a la etapa de floración, donde acumula 0.32 kg ha^{-1} , luego se reduce al finalizar el ciclo del cultivo. La extracción de cobre por la raíz se incrementa hasta llegar a la etapa de embuchamiento, declinando en la floración y volviendo a incrementarse en la maduración. En el follaje la extracción presenta un comportamiento similar a la extracción total hasta la etapa de embuchamiento, luego decrece a medida que avanza el ciclo del cultivo. La extracción por la espiga disminuye desde la floración hasta la maduración.

La extracción de cobre por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 88% en la ecuación de regresión (Figura 77).

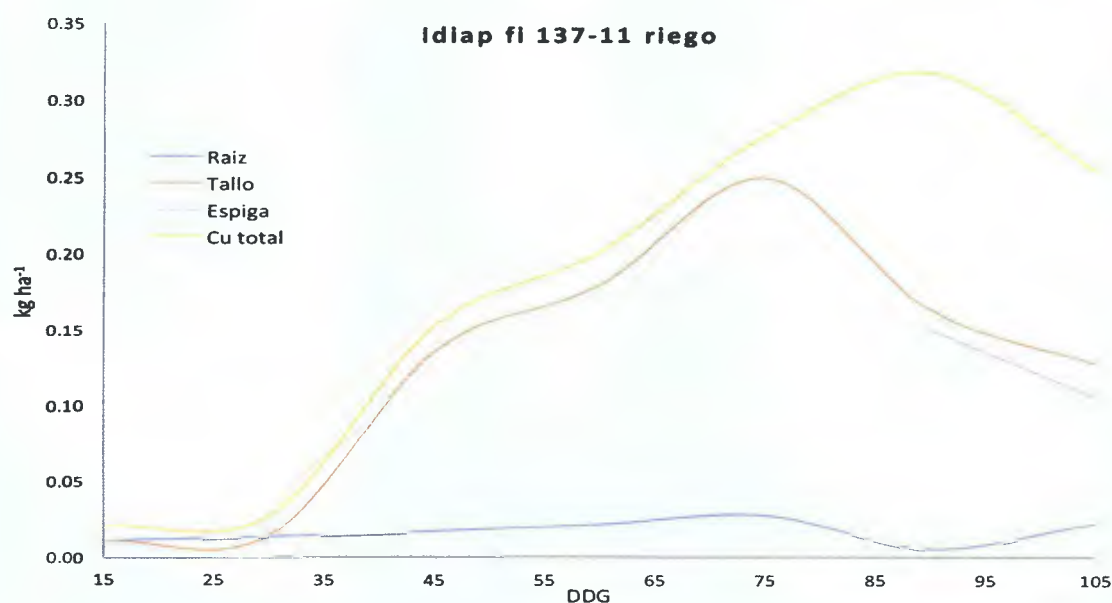


Figura 76. Curva de absorción de cobre en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

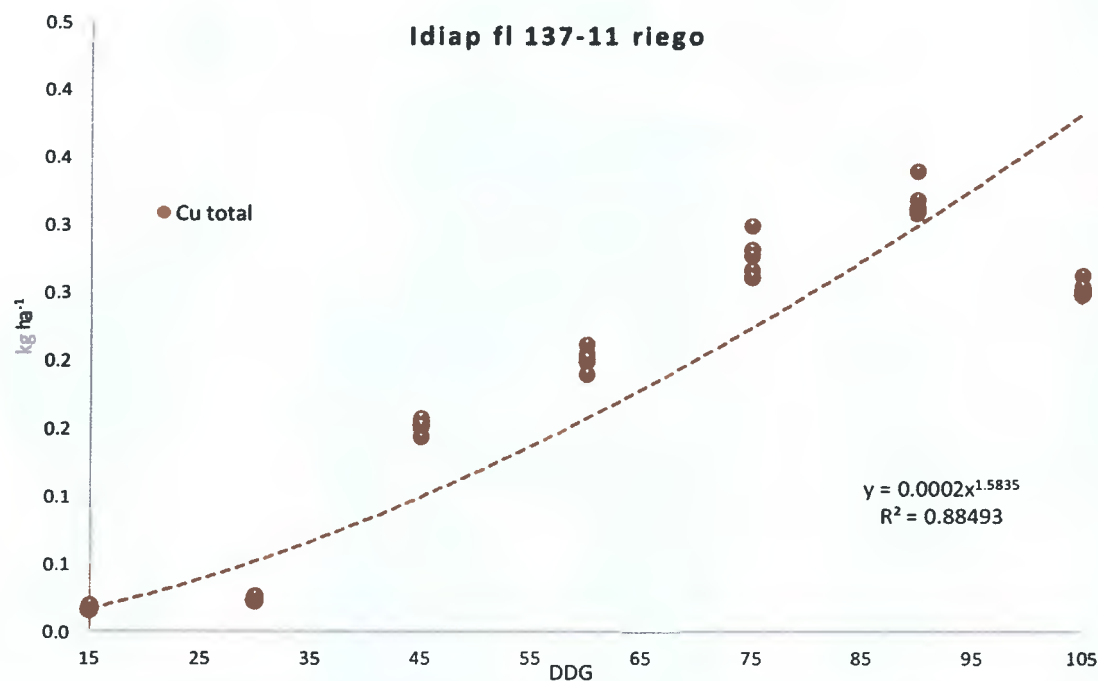


Figura 77. Gráfica de regresión de la extracción de cobre por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

i. Curva de absorción de zinc

La curva de absorción de zinc (Figura 78), empieza a crecer a partir del inicio de macollamiento hasta llegar a la etapa de floración, donde acumula 1.1 kg ha⁻¹, luego se reduce al finalizar el ciclo del cultivo. La extracción de por la raíz se incrementa hasta llegar a la etapa de la floración y se mantiene estable hasta llegar a la maduración. En el follaje la extracción presenta un comportamiento similar a la extracción total hasta la etapa de embuchamiento, luego decrece a medida que avanza el ciclo del cultivo. La extracción por la espiga disminuye desde la floración hasta la maduración.

La extracción de zinc por etapa fenológica muestra una tendencia potencial con un ajuste de 92% en la ecuación de regresión (Figura 79).

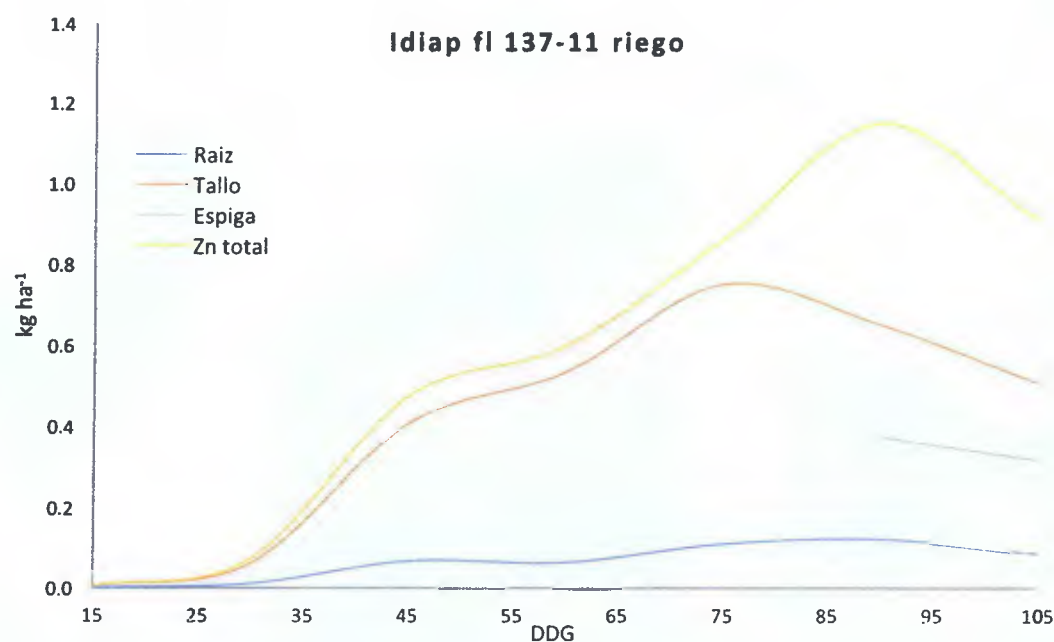


Figura 78. Curva de absorción de zinc en diferentes órganos vegetativos por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

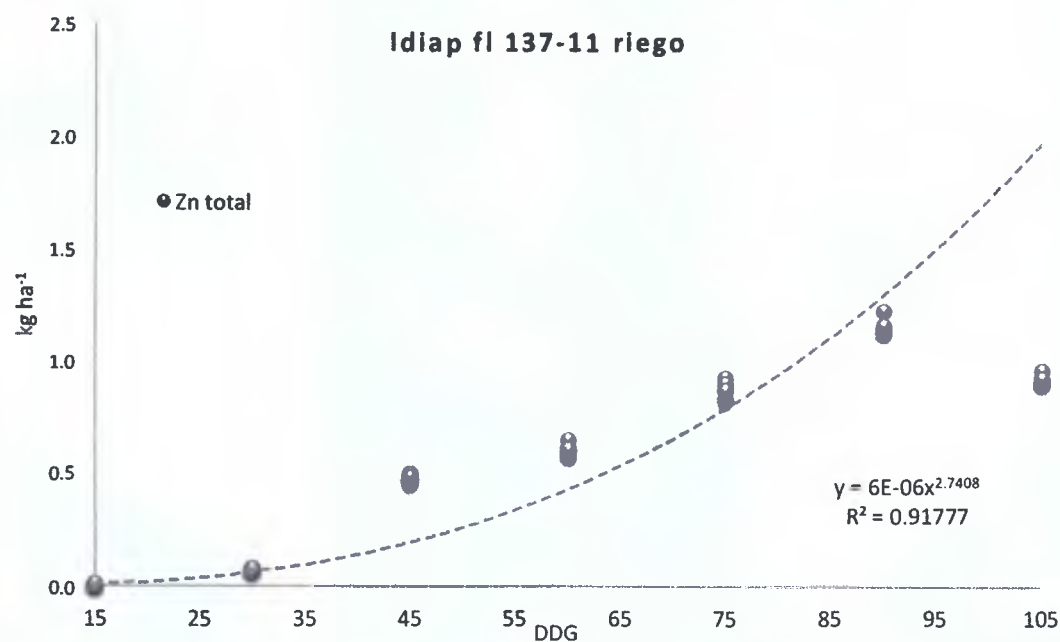


Figura 79. Gráfica de regresión de la extracción de zinc por etapa fenológica en la variedad IDIAP FL 137-11 en condiciones de riego.

3 ETAPAS DE MAXIMA ABSORCION DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE ARROZ

3.1 Absorción de nitrógeno

La absorción de nitrógeno por el cultivo de arroz por etapa fenológica se presenta de manera relativa en la Figura 80 en donde se aprecia que al llegar la etapa de embuchamiento la planta ya ha alcanzado el 91% de la extracción. Se observan dos etapas de máxima absorción en el ciclo fenológico que son el máximo macollamiento con un 28% de la absorción total y al embuchamiento con un 27% de la absorción total. El N es un regulador del crecimiento ya que promueve la reproducción celular y por ende el macollamiento de la planta (Mejía y Menjivar 2010). Igualmente existe una correlación positiva entre el número de granos por unidad de área y el porcentaje de N absorbido por la planta momentos antes de la floración (Yoshida 1978). Molina y Rodríguez (2012), Amador y Bernal (2012) encontraron la máxima extracción de N en la etapa de máximo macollamiento. Solarzano (2003) reporta el máximo macollamiento y el inicio de floración como las etapas de mayor extracción de N. Name y Villarreal (2004) reportan la etapa de llenado de grano como la de mayor extracción de N en el cultivo de arroz.

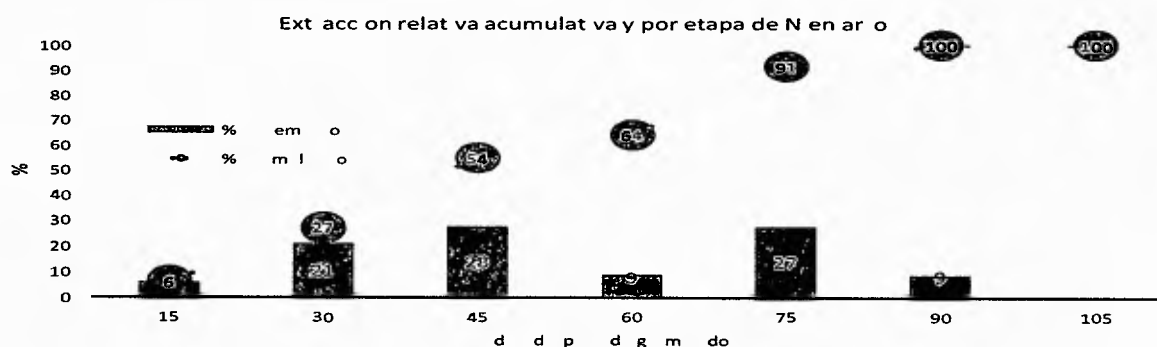


Figura 80 Extracción relativa, total y por etapa fenológica de nitrógeno en el cultivo de arroz

3.2 Absorción de fósforo

En la Figura 81, se presenta la absorción relativa de fósforo, mostrando que al llegar al embuchamiento la planta ya ha absorbido el 97% del total. Se observan dos etapas de máxima absorción, que son el inicio del primordio floral con una absorción del 35% y la etapa de embuchamiento, con un 33% del total de fósforo extraído por la planta en todo el ciclo de cultivo.

A diferencia de lo que ocurre con el N, los iones fosfato no se reducen químicamente dentro de la planta, donde la mayor parte del fosfato absorbido se incorpora a moléculas orgánicas (del tipo de los ésteres), y estos compuestos se acumulan en las raíces y en las hojas hasta la iniciación de la panícula (Perdomo *et al.* 1985).

Resultados similares han sido reportados por Molina y Rodríguez (2012), encontrando que partir del inicio de la formación del primordio y hasta la floración, la planta absorbió el 58% del P total requerido; Amador y Bernal (2012) encontraron que las etapas de mayor demanda de fósforo fueron macollamiento y grano maduro; Name y Villarreal (2004), reportan la etapa de llenado de grano como la de mayor extracción de fósforo en el cultivo de arroz.

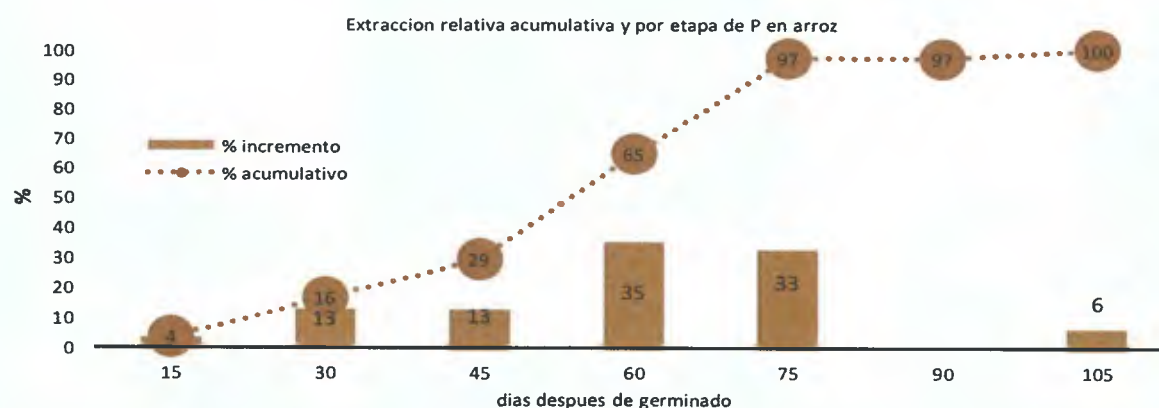


Figura 81. Extracción relativa, total y por etapa fenológica de fósforo en el cultivo de arroz.

3.3 Absorción de potasio

La absorción relativa de potasio en el cultivo de arroz alcanza un 92% del total al llegar la etapa de embuchamiento (Figura 82). Se aprecian dos etapas de máxima absorción en el ciclo vegetativo, encontrándose la primera al inicio de macollamiento acumulando un 25% de la absorción de potasio total y la otra etapa de máxima absorción está en el embuchamiento, extrayendo un 33% del potasio total.

El K es de gran importancia en el desarrollo de las macollas de la planta, en la formación de la panícula, en la resistencia al acame (Mejía y Menjívar 2010). Molina y Rodríguez (2012) reportaron una absorción tardía muy alta durante la fase de maduración y que correspondió al 45% del K total absorbido; un resultado similar encontró Vargas (2002) en la que más del 80% del K fue absorbido en la fase reproductiva y de maduración; Name y Villarreal (2004) reportan la etapa de llenado de grano como la de mayor extracción de potasio; Amador y Bernal (2012) reportan la mayor absorción de K en la etapa de macollamiento.

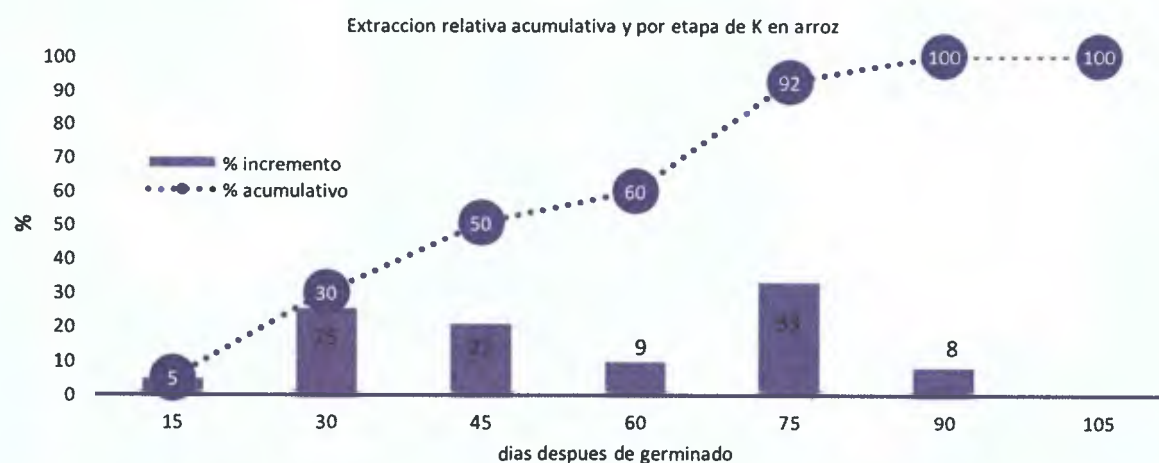


Figura 82. Extracción relativa, total y por etapa fenológica de potasio en el cultivo de arroz.

3 4 Absorción de calcio

La absorción relativa de calcio por el cultivo del arroz se mantiene en incremento constante hasta llegar a la floración donde se alcanza el 100% de la extracción total (Figura 83) La máxima absorción se da en la etapa primordio floral con un 28% de la extracción total y el estado de embuchamiento con 26% de la absorción total de calcio por el cultivo

El Ca funciona como segundo mensajero en la conducción de señales entre los factores ambientales y los mecanismos de respuesta de las plantas en términos de crecimiento y desarrollo esta función está relacionada con la división celular por tanto el arroz toma el Ca de manera continua hasta la etapa de llenado de grano (Mejía y Menjivar 2010) Trabajos realizados por Amador y Bernal (2012) reportan que las etapas de mayor demanda de calcio fueron macollamiento y floración Molina y Rodríguez (2012) identifican los estados de macollamiento y llenado de grano como las de mayor demanda de Ca

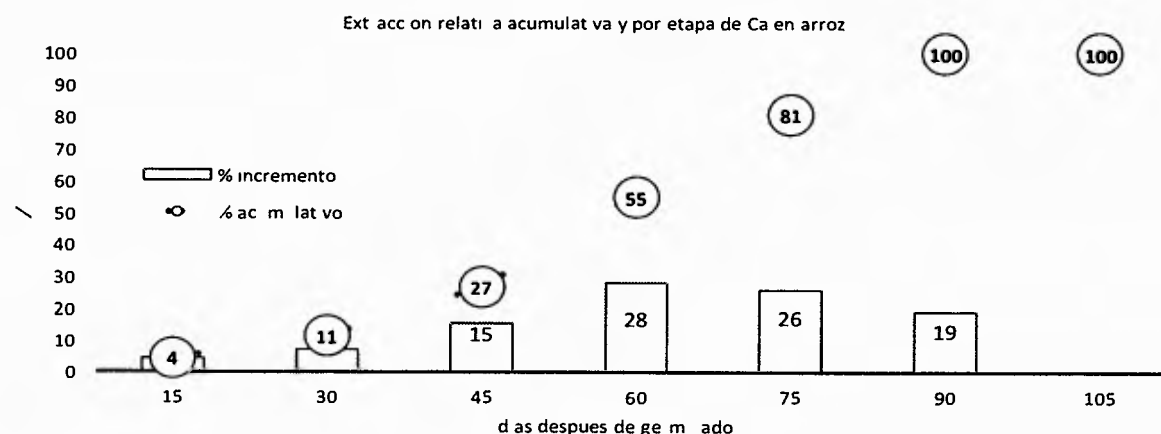


Figura 83 Extracción relativa, total y por etapa fenológica de calcio en el cultivo de arroz

3 5 Absorción de magnesio

La absorción relativa de magnesio durante el ciclo fenológico del arroz alcanza su totalidad en el estado de embuchamiento llegando al 100% en esta etapa (Figura 84) Las

etapas de mayor extracción de Mg son en el primordio floral con un 30% de absorción del total y la etapa de embuchamiento, alcanzando esta un 43% del total de magnesio extraído por el cultivo de arroz en todo su ciclo.

La principal función del Mg está en la fotosíntesis, ya que es el átomo central de la molécula de clorofila (Mejía y Menjívar 2010), requiriéndose en mayor cantidad en las etapas donde hay mayor producción de biomasa. Amador y Bernal (2012) reportan que las etapas de mayor demanda de magnesio fueron floración y maduración.

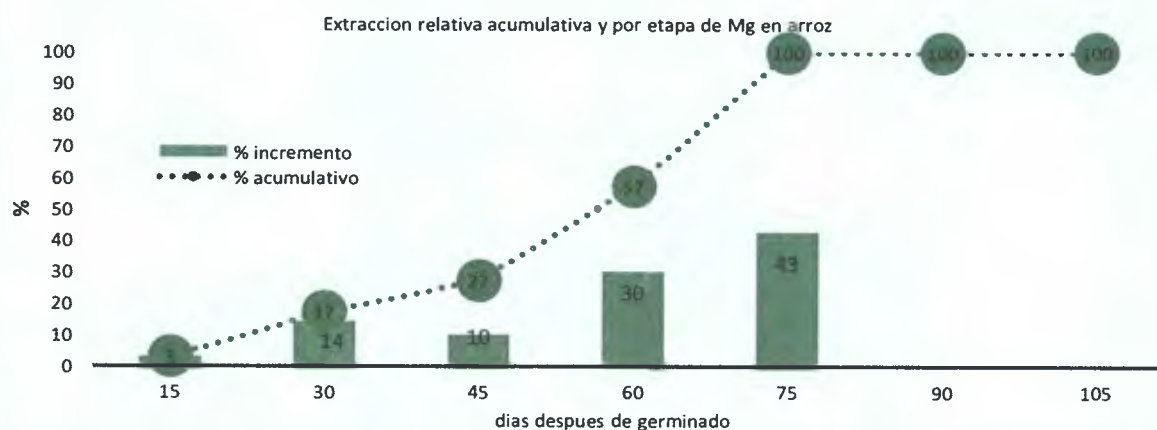


Figura 84. Extracción relativa, total y por etapa fenológica de magnesio en el cultivo de arroz.

3.6 Absorción de manganeso

La absorción relativa de Mn se mantiene en incremento constante hasta llegar a la floración, donde se alcanza el 100% de la extracción (Figura 85). La máxima absorción se da en la etapa de embuchamiento con un 24% de la extracción y en la floración con 39%. Está presente en el complejo Mn-proteína que transporta electrones del agua al fotosistema II (Mejía y Menjívar 2010), requiriéndose en mayor cantidad en las etapas donde hay mayor producción de biomasa.

Trabajos realizados por Amador y Bernal (2012) reportan su mayor absorción en la etapa de macollamiento, mientras que Molina y Rodríguez (2012) ubican la etapa de maduración como la de mayor extracción de Mn en el cultivo de arroz.

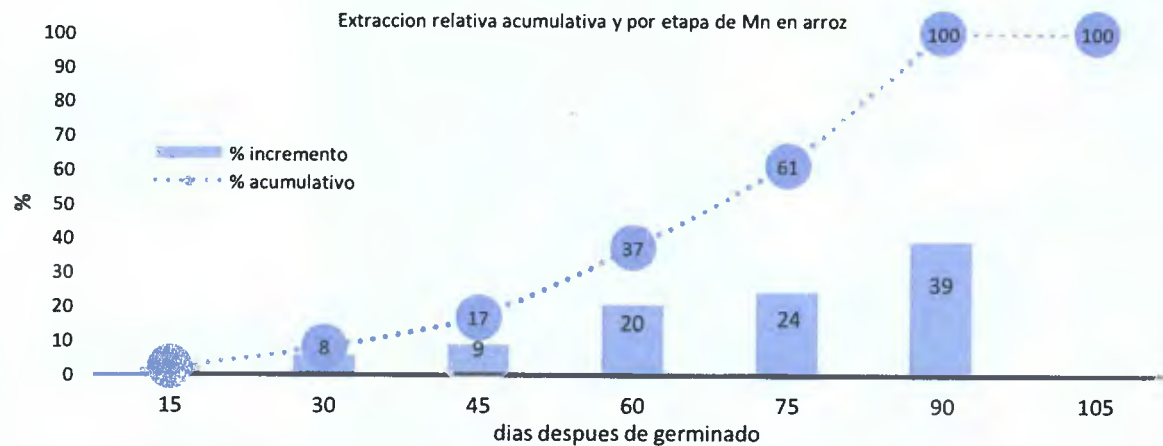


Figura 85. Extracción relativa, total y por etapa fenológica de manganeso en el cultivo de arroz.

3.7 Absorción de hierro

En la Figura 86, se presenta la absorción relativa de hierro, mostrando que al llegar a la floración la planta ya ha absorbido el 100% del total. Se observan dos etapas de máxima absorción, que son el inicio del primordio floral con una absorción del 15% y la etapa de floración con un 55% del total de hierro extraído por la planta en todo el ciclo de cultivo.

La función principal del Fe es la activación de enzimas, donde actúa como grupo prostético, interviene por tanto en las reacciones fundamentales de la diferenciación floral (Mejía y Menjívar 2010). Molina y Rodríguez (2012) ubican la etapa de maduración como la de mayor extracción de Fe, coincidiendo con Amador y Bernal (2012) quienes reportan la etapa de maduración como la de mayor extracción de hierro en el cultivo de arroz.

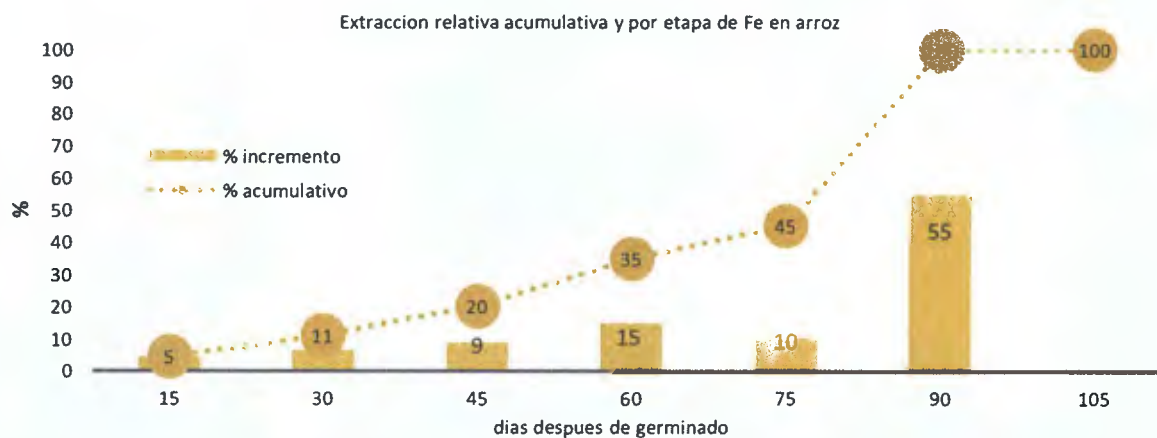


Figura 86. Extracción relativa, total y por etapa fenológica de hierro en el cultivo de arroz.

3.8 Absorción de cobre

La absorción relativa de cobre en el cultivo de arroz alcanza su totalidad al llegar al embuchamiento, etapa en la cual alcanza el 100% de la extracción total (Figura 87). Las etapas de máxima absorción de cobre durante el ciclo fenológico son en el primordio floral con un 32% de la absorción total y la etapa de embuchamiento con un 45% de la extracción total de cobre.

Se ha demostrado que el Cu disminuye la formación de espigas o panículas en algunos cereales (Mejía y Menjívar 2010), lo que indica su importancia en el inicio de la etapa reproductiva. Molina y Rodríguez (2012) reportan que la mayor parte del cobre se absorbió durante la fase reproductiva, mientras que Amador y Bernal (2012) identifican la etapa de maduración como la de mayor extracción de cobre.

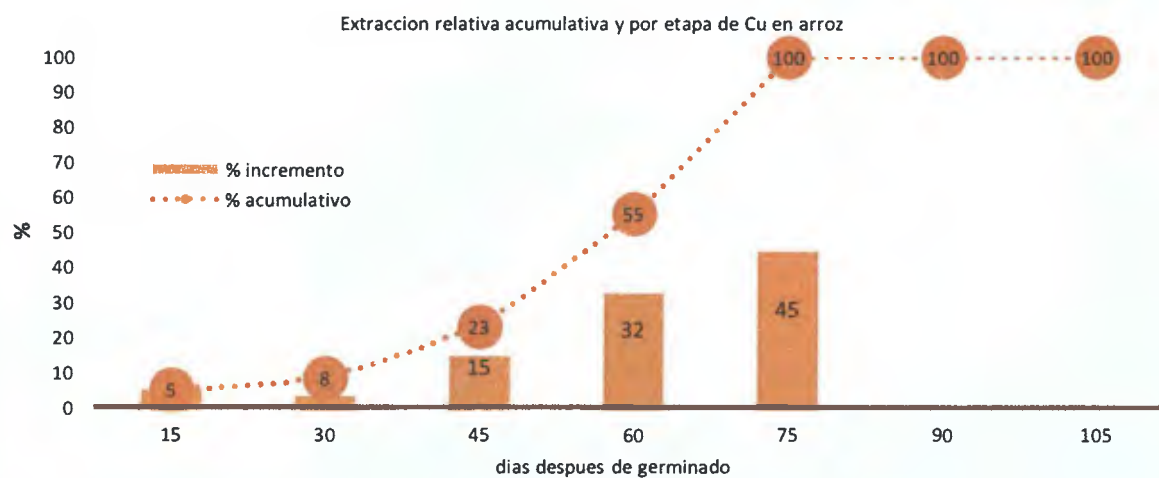


Figura 87. Extracción relativa, total y por etapa fenológica de cobre en el cultivo de arroz.

3.9 Absorción de zinc

La absorción relativa de Zn se mantiene en incremento constante hasta llegar a la floración, donde se alcanza el 100% de la extracción (Figura 88). La máxima absorción se da en la etapa de embuchamiento con un 34% y en la floración con 24%.

Se ha demostrado (Marschner 1995), que en sitios específicos de síntesis proteica de los órganos reproductivos, hay una necesidad grande de Zn. Molina y Rodríguez (2012) reportan que la mayor parte del zinc se absorbió durante la fase reproductiva, mientras que Amador y Bernal (2012) identifican la etapa de maduración como la de mayor extracción de zinc.

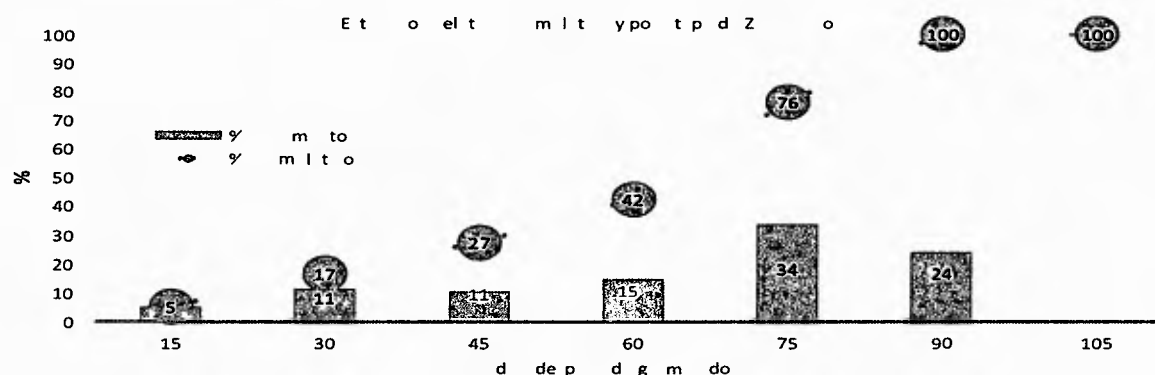


Figura 88 Extracción relativa, total y por etapa fenológica de zinc en el cultivo de arroz

4 CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE ARROZ

Los valores de concentración foliar media de nutrientes en las distintas variedades de arroz bajo los dos sistemas de siembra evaluados se presentan en el Cuadro X los cuales son resultados medios provenientes de dos ciclos de cultivo y de las etapas fenológicas comprendidas entre macollamiento y floración ya que estas son las etapas de referencia recomendadas por Correndo y García (2012) como guía para comparación de los rangos de suficiencia toxicidad y niveles críticos de la concentración de nutrientes en el cultivo de arroz

Cuadro X Concentración de nutrientes foliar y rangos de referencia para el cultivo del arroz

Sistema	Variedad	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
		%					mg kg ⁻¹			
Secano Riego	IDIAP FL 106 11	2.3	0.3	3.0	0.7	0.1	78	50	50	10
		2.1	0.2	2.7	0.4	0.1	424	55	30	10
Secano Riego	IDIAP FL 137 11	1.9	0.3	2.5	0.6	0.1	98	55	50	10
		2.7	0.2	3.5	0.7	0.04	275	24	60	20
Promedio		2.2	0.3	2.9	0.6	0.1	219	41	43	13
Nivel critico		<2	<0.1	<1	<0.2	<0.1	<40	<50	<18	<7
Suficiencia		2.5	0.1-0.4	1.3-5	0.2-4	0.1-0.7	40-800	50-300	18-50	7-20
Toxicidad		n/t	n/t	n/t	n/t	n/t	>800	>300	>500	>30

Nota: n/t= no tóxico % = porcentaje mg kg⁻¹ = miligramos por kilogramos (Adaptado de Correndo y García 2012)

Los niveles medios de concentración de N, P, K, Ca, Mn, Zn y Cu se encuentran dentro de los parámetros de suficiencia utilizados como referencia. Los niveles de Mg en la variedad IDIAP FL 137-11 bajo condiciones de riego, presentaron niveles bajos en el follaje durante el periodo de muestreo de referencia, periodo que mostró mayor concentración de K, lo que pudo influir puesto que altas concentraciones de K tienden a restringir la absorción de Mg. Los niveles de Fe son bajos en el sistema de riego, algo lógico ya que los niveles de este elemento estaban bajos en el suelo Inceptisol.

4.1 Dinámica del nitrógeno

El arroz toma el N de la planta con mayor intensidad en las primeras etapas de su desarrollo hasta el final del periodo vegetativo (Figura 89); la concentración descende a partir de la etapa de máximo macollamiento tanto en el follaje como en la raíz hasta aparecer la panícula donde se presenta la mayor concentración de N. El nitrógeno es considerado un nutriente de alta movilidad dentro de la planta (Marschner 1995), antes de la floración, la mayor cantidad del N absorbido se acumula en la lámina y vaina de las hojas; de allí es transportado al grano, donde se acumulará gran porcentaje del N absorbido (Mejía y Menjívar 2010).



Figura 89. Dinámica de la concentración de nitrógeno durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.2 Dinámica del fósforo

La concentración de P en las raíces se mantiene prácticamente constante a lo largo del ciclo, contrario a lo sucedido con las concentraciones presentes en el follaje, las cuales se mantienen altas hasta la etapa de macollamiento donde se reduce drásticamente al inicio del periodo reproductivo; se observa un rápido incremento de la concentración de P en la espiga, indicando que el P es transportado a los granos. El fósforo es considerado un nutriente de alta movilidad dentro de la planta (Marschner 1995), se redistribuye fácilmente en la planta de arroz pasando de un órgano a otro, y al llegar la floración, el P es transportado rápidamente a los granos, y en ellos se acumula gran porcentaje del total absorbido (Mejía y Menjívar 2010).



Figura 90. Dinámica de la concentración de fósforo durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.3 Dinámica del potasio

La concentración del K por las raíces es mucho menor que en el follaje y se mantienen constante a lo largo de la fenología del cultivo (Figura 91). Las concentraciones en el follaje son altas en el periodo vegetativo, principalmente el macollamiento y decrece en el periodo reproductivo del cultivo, observándose el mayor decrecimiento a partir de la floración, etapa en la cual comienza a acumularse en la espiga. Si lo comparamos con la acumulación

de N y de P, un bajo porcentaje del total de K absorbido se acumula en el grano; el resto se acumula en las partes vegetativas de la planta (Mejía y Menjívar 2010). El potasio es considerado un nutriente de alta movilidad dentro de la planta (Marschner 1995).

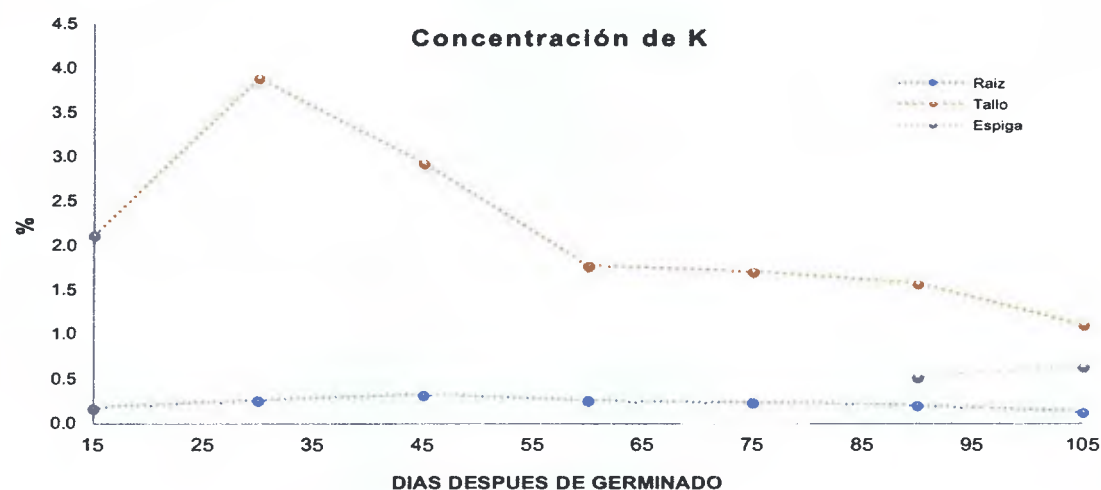


Figura 91. Dinámica de la concentración de potasio durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.4 Dinámica del calcio

Las concentraciones de calcio en la raíz y en el follaje son muy similares durante el ciclo fenológico del cultivo (Figura 92). En la etapa vegetativa las concentraciones en el tallo son mayores que las de la raíz, ocurriendo lo inverso en la etapa reproductiva. Muy poco del calcio es traslocado a la espiga. El Ca es un elemento inmóvil en la planta de arroz; se acumula por tanto en las hojas viejas y los síntomas de deficiencia aparecen entonces en las raíces, en los tallos y en las hojas jóvenes (Mejía y Menjívar 2010).



Figura 92. Dinámica de la concentración de calcio durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.5 Dinámica del magnesio

Las concentraciones de magnesio en la raíz y el tallo son muy similares durante el periodo vegetativo del cultivo, luego hay un incremento en la raíz al llegar la etapa reproductiva, contrario a lo que ocurre en el follaje (Figura 93). Poco del magnesio es traslocado al grano. El primer síntoma visible de la deficiencia de Mg es una clorosis en las hojas viejas, lo que prueba su movilidad en la planta (Mejía y Menjívar 2010).

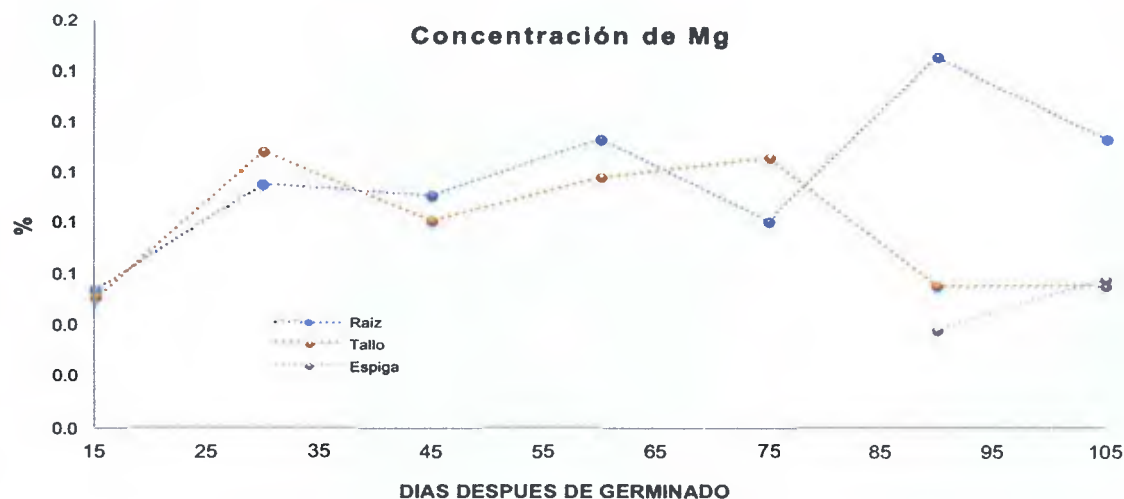


Figura 93. Dinámica de la concentración de magnesio durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.6 Dinámica del manganeso

Las concentraciones de manganeso en la raíz y en el follaje son muy similares durante toda la fenología de la planta de arroz (Figura 94). Las concentraciones de este elemento son menores en el estado vegetativo que en el estado reproductivo, principalmente en la etapa de floración. Muy poco del manganeso es traslocado al grano. El manganeso es considerado un nutriente de movilidad media dentro de la planta (Marschner 1995).

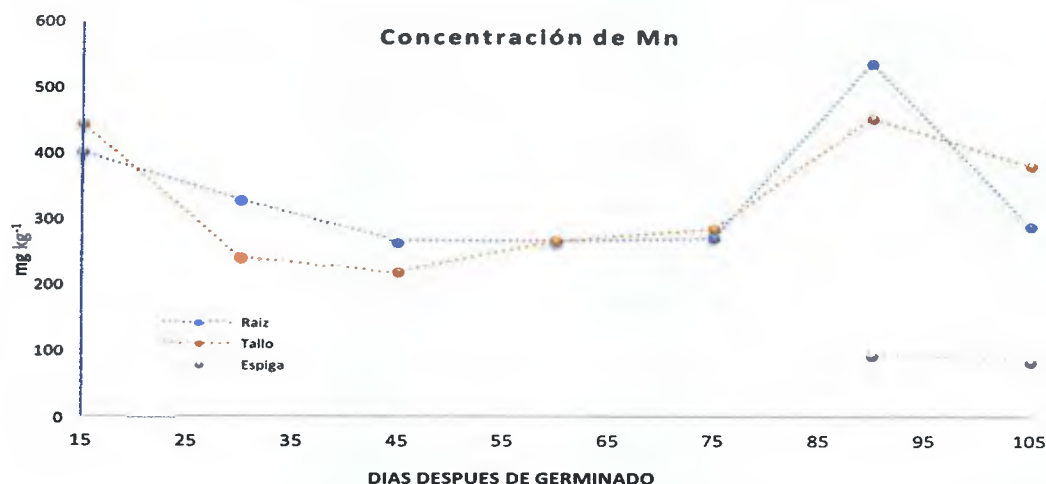


Figura 94. Dinámica de la concentración de manganeso durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.7 Dinámica del hierro

Las concentraciones de Fe en el follaje son bajas en comparación con las encontradas en la raíz (Figura 95). La concentración en las raíces se mantiene constante en la etapa vegetativa, aumentando al llegar la etapa reproductiva (principalmente la floración). Las raíces toman el Fe como Fe^{2+} y como Fe^{3+} ; cuando llega a la membrana celular, entra por transporte activo a la célula mediante los mismos transportadores que permiten la entrada del Mn, razón por la cual los dos elementos son antagónicos. Para que el Fe^{3+} pueda ser asimilado por la célula, debe ser reducido a Fe^{2+} ; esta tasa de reducción depende del pH del suelo y de la planta, implicando una baja tasa de translocación del hierro dentro de los

tejidos, por tal razón se acumula en las raíces y muy poco pasa al grano (Mejía y Menjívar 2010).

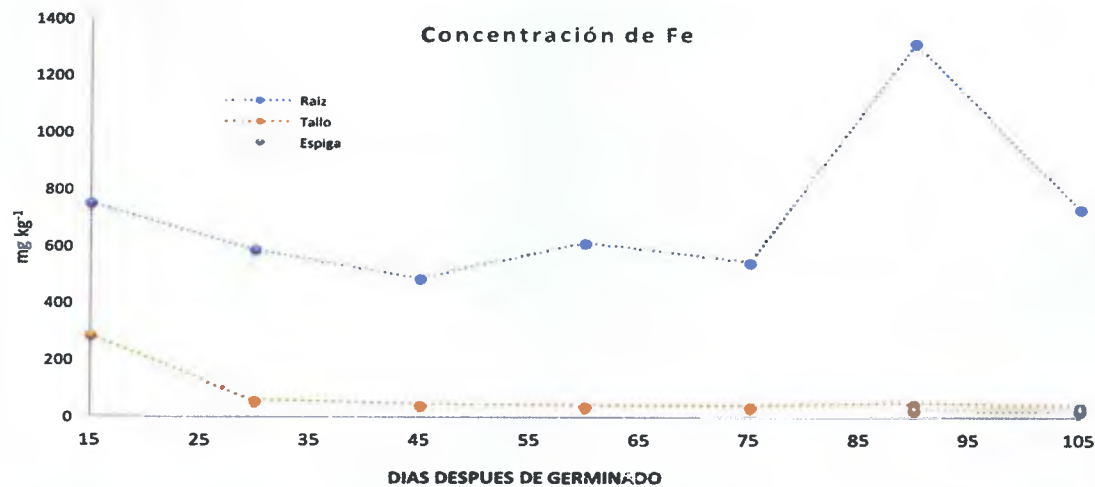


Figura 95. Dinámica de la concentración de hierro durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.8 Dinámica del zinc

Las concentraciones de Zn en el follaje son menores que las presentadas por las raíces durante casi toda la fenología del cultivo (Figura 96). El Zn decrece en el follaje después del macollamiento, mientras que en las raíces fluctúa durante el ciclo sin mostrar una tendencia definida. Se ha encontrado que concentraciones altas de otros nutrientes como el Fe, Mn y P afectan las concentraciones de Zn en la planta; aunado a esto, otros factores como la acidez o alcalinidad, alta luminosidad, altas temperaturas y un exceso de humedad o sequía, afectan la disponibilidad de Zn en el suelo para que esté disponible para la planta (Mejía y Menjívar 2010).

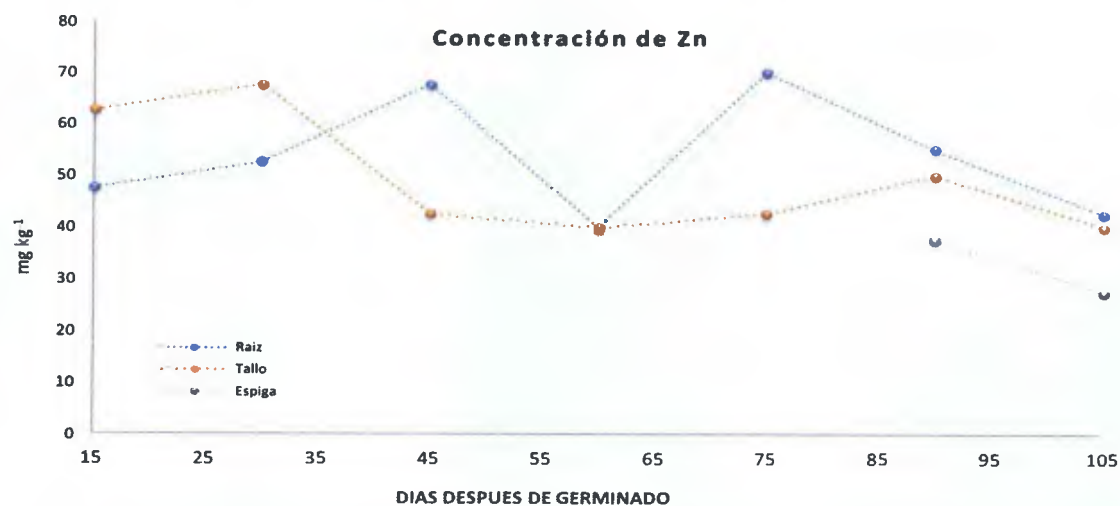


Figura 96. Dinámica de la concentración de zinc durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

4.9 Dinámica del cobre

La concentración de cobre en la raíz aumenta un al llegar el máximo macollamiento y luego se mantiene constante durante el ciclo fenológico (Figura 97). En el tallo, la concentración baja al llegar al macollamiento y luego se va incrementando hasta llegar al embuchamiento donde decae drásticamente en la floración y maduración. La concentración de Cu en la espiga baja rápidamente desde la floración a la maduración. La deficiencia de Cu cuando ocurre, afecta el grano de arroz, más que el crecimiento vegetativo de las plantas (Marschner 1995), puesto que es un elemento poco móvil que tiende a acumularse en el aparato mitocondrial y en las semillas (Mejía y Menjívar 2010).

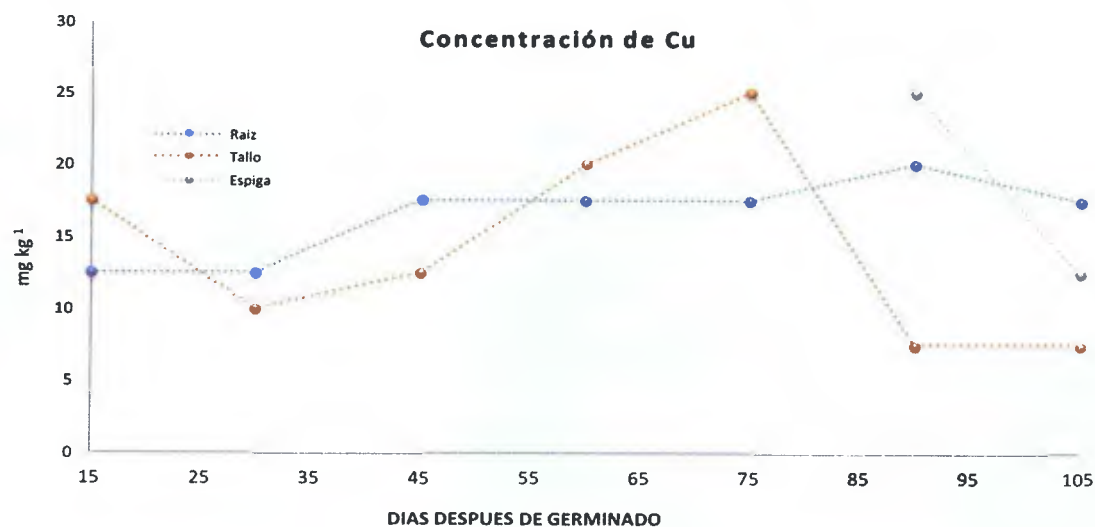


Figura 97. Dinámica de la concentración de zinc durante el desarrollo fenológico del cultivo de arroz.

5. EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR DISTINTAS SECCIONES DE LA PLANTA DE ARROZ

La proporción en la cual los distintos órganos de la planta de arroz extraen los nutrientes es de gran relevancia en los programas de fertilización, principalmente en aquellas zonas donde se cultiva de manera continua a través de los años, determinando así la cantidad de nutrientes que salen del sistema a través de la cosecha (grano) y los nutrientes que pueden ser reciclados a través de la reincorporación de los residuos vegetales al suelo una vez que estos se descompongan (raíz y tallo).

En el caso del N la mayor extracción se da por el follaje, acumulando un 66% del total de N absorbido, seguido por la espiga con un 27% y la raíz con 7%. En cuanto al P, el 61% es extraído por el follaje, 36% por la espiga y 3% por la raíz. El K es extraído prácticamente en su totalidad por el follaje con un 80%, seguido por la espiga con 17% y la raíz con un 2%. El Ca se extrae en un 64% por el follaje, 25% por la espiga y 12% por la raíz. En el

Mg el follaje extrae 62%, la espiga 24% y la raíz 14%. Para el Mn el follaje extrae el 82%, la espiga 8% y la raíz 10%. En el Fe la mayor extracción se da por la raíz con un 78%, el tallo 18% y la espiga 4%. Para el Cu el follaje extrae 55%, la espiga 24% y la raíz 21%. Para Zn el follaje extrae 61%, la espiga 23 y la raíz 16% (Figura 98).

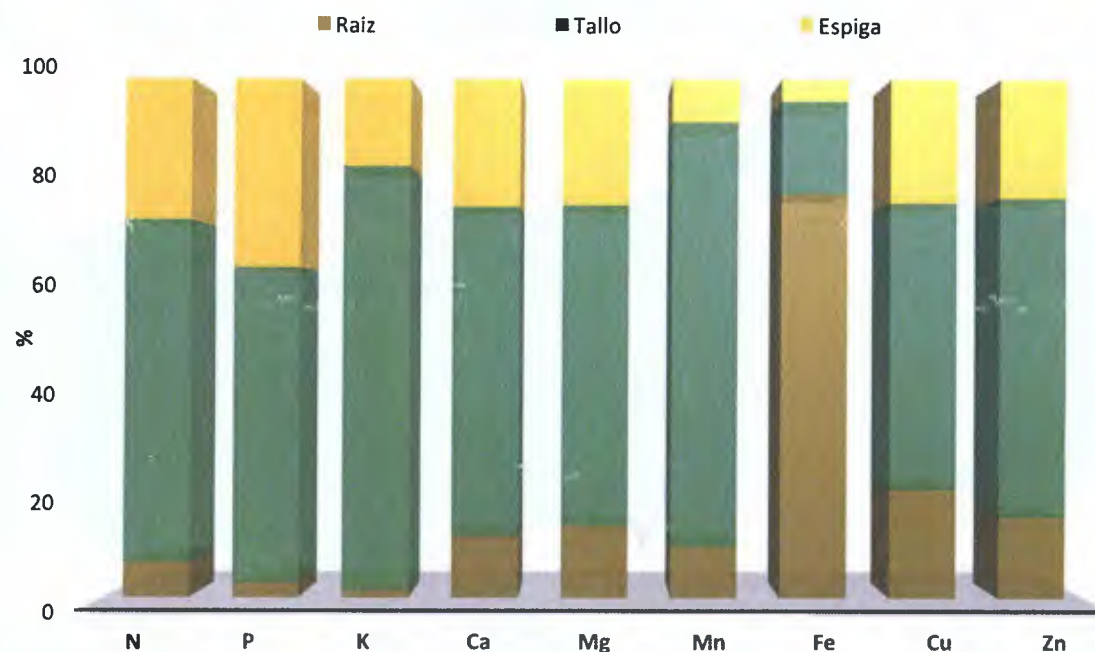


Figura 98. Extracción relativa de nutrientes por distintas secciones del cultivo de arroz.

Al observar la extracción relativa en las secciones de la planta de arroz de cada elemento, se puede identificar la importancia de cada nutriente en una sección determinada. Así el orden de importancia de los nutrientes, basado en cuanto aporta de su total extraído cada uno de los nutrientes, tenemos para la raíz es Fe>Cu>Zn>Mg>Ca>Mn>N>P>K, Para el tallo tenemos el orden Mn>K>N>Ca>Mg>Zn>P>Cu>Fe y para la espiga tenemos el orden P>N>Ca>Mg>Cu>Zn>K>Mn>Fe.

6 REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES POR TONELADA DE ARROZ EN CASCARA

Los requerimientos nutricionales expresados en kilogramo de nutriente/hectarea/tonelada de grano en cascara limpio y seco de distintas variedades de arroz se presentan en el Cuadro XI. La extracción de N, P y K en las variedades IDIAP FL 106 11 y la IDIAP FL 137 11 resultaron ser mayores a los reportados por INPOFOS (2002), Bertsch (2009), Herber y Kreamer (2010), Molina y Rodríguez (2012) en distintas variedades, mientras que la extracción de Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn fueron similares. La variedad IDIAP FL 106 11 presenta un mayor requerimiento de N y K para producir una tonelada de grano que la IDIAP FL 137 11, resultando ser más exigentes (menos eficiente). La extracción de P, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn fue similar en ambas variedades.

Cuadro XII Extracción de nutrientes/ha/tonelada de grano (limpio y seco) en distintas variedades de arroz

Variedad	kg/ha/ton									Referencia
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	
Guri INTA CL	11	2	13	7	3	0.002	0.4	0.01	0.04	Herber y Kreamer 2010
Puita INTA CL	11	2	12	7	3	0.003	0.3	0.01	0.04	Herber y Kreamer 2010
EMBRAPA 7 TAIM	11	2	15	6	3	0.002	0.2	0.01	0.03	Herber y Kreamer 2010
Tranquilo FL INTA	13	2	15	8	4	0.003	0.2	0.01	0.05	Herber y Kreamer 2010
EPAGRI 108	12	2	15	7	3	0.003	0.2	0.01	0.04	Herber y Kreamer 2010
CFX 18	16	6	51	4	3	1.5	1.8	0.09	0.09	Molina y Rodríguez 2012
	22	3	26	3	2	0.4	0.4	0.03	0.04	INPOFOS 2002
4102	28	4	54	16	6	2.9	6.9	0.06	0.16	Bertsch 2009
4338	17	4	40	16	8	2.8	9.5	0.06	0.32	Bertsch 2009
Fedearroz 50	28	5	41	5	5	3.3	1.4	0.48	0.27	Bertsch 2009
IDIAP FL 106 11	47	10	56	24	3	0.7	0.7	0.05	0.20	presente estudio
IDIAP FL 137 11	40	10	46	28	4	0.7	0.8	0.07	0.22	presente estudio
promedio	21	4	32	11	4	1.0	1.9	0.07	0.12	

IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1 CONCLUSIONES

- Se puede apreciar que en el suelo Inceptisol bajo condiciones de riego se extrajo mayor cantidad de nutrientes que en el suelo Entisol bajo las condiciones de secano
- La variedad IDIAP FL 106 11 muestra ser mas exigente en nutrientes principalmente en los dos mas absorbidos como lo son el N y K
- Las dos variedades presentan diferente extraccion de nutrientes entre ellas
- La misma variedad presenta distinta extraccion de nutriente en condiciones de riego y de secano
- La etapa de embuchamiento resulto ser una de las etapas fenologicas de mayor extraccion en la mayoria de los nutrientes

2 RECOMENDACIONES

- Incorporar los requerimientos de absorcion de nutrientes determinados en este estudio en los planes de fertilizacion para cada variedad y sistema de siembra
- En el caso del nitrogeno por ser un elemento que se pierde con facilidad por volatilizacion y lixiviacion se deben hacer aplicaciones fraccionadas del fertilizante nitrogenado inmediatamente antes de sus periodos criticos de absorcion

- El fósforo por ser un elemento de una dinámica lenta en el suelo se debe aplicar antes de la siembra del cultivo de arroz para que este disponible en sus etapas críticas de absorción
- El potasio constituye un elemento catiónico estable en el suelo que puede ser retenido por los coloides protegiéndose de pérdidas por lixiviación debe ser aplicado antes de la siembra del cultivo para que este disponible en sus etapas críticas de absorción
- Los requerimientos de Ca y Mg por el cultivo de arroz son bajos y regularmente se cubren con las cantidades existentes en el suelo y de haber deficiencia de cualquiera de ellos indicada por el análisis de suelo previo se pueden aplicar al inicio del cultivo cuidando de no provocar un desbalance en su relación
- El Mn Fe Zn y Cu son requeridos en pequeñas cantidades por el cultivo las cuales suelen ser cubiertas por las cantidades existentes en el suelo y de haber deficiencia de cualquiera de ellos según análisis de suelo y foliar se pueden aplicar de manera foliar antes de sus etapas críticas de absorción

V BIBLIOGRAFIA

- AMADOR Mc J C BERNAL CH I E 2012 Curva de absorcion de nutrientes del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L) variedad Venezuela 21 en un suelo vertisol bajo condiciones del valle de Sebaco Nicaragua Tesis de grado Escuela agricola Panamericana El Zamorano Honduras 29 p
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE (ANAM) 2011 Atlas Ambiental de la Republica de Panama Gobierno Nacional Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) Banco Interamericano de Desarrollo (BID) Panama 187p
- BALIGAR V FAGERIA N 2007 Nutrient use efficiency in acid soil Nutrient management and plant use efficiency In A C Moniz y col (ed) Plant Soil interactions at low pH Brazilian Soil science Society Campinas Viçosa Brasil pp 75 95
- BARRERA J CRUZ M MELGAREJO L 2010 Nutricion mineral Experimentos en fisiologia vegetal Universidad Nacional de Colombia Bogota Colombia 79 106 pp
- BERTSCH F 2009 Absorcion de nutrientes por los cultivos Asociacion costarricense de la Ciencia del Suelo San Jose Costa Rica 307 p
- BERTSCH F 2005 Estudios de Absorcion de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilizacion Inpofos Rev Informaciones Agronomicas Quito Ecuador N° 57 1 10 pp
- CAMARGO I QUIROS Mc E ZACHRISSON B 2014 Innovacion tecnologica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panama Instituto De Investigacion Agropecuaria de Panama Panama 141 p
- CORRENDON A GARCIA F 2012 Concentracion de nutrientes en planta como herramienta de diagnostico Cultivos extensivos Archivo agronomico#14 International Plant Nutrition Institute (IPNI) Georgia USA 8 p
- GIERTH M MASER P 2007 Potassium transporters in plants–Involvement in K⁺ acquisition redistribution and homeostasis Federation of European Biochemical Societies FEBS Letters Heidelberg Germany N° 581 2348 2356 pp

- GUTIERRES MARCO 1997 Nutricion mineral de las plantas avances y aplicaciones Agronomia Costarricense San Jose Costa Rica N°21(1) 127 137 pp
- GUTIERREZ H DE LA VARA S R 2013 Analisis y diseño de experimentos Ed McGraw Hill 3ª Edición México 489 p
- HERBER L KRAEMER A 2010 Curvas de absorcion de nutrientes para cinco variedades de arroz de uso actual en Argentina Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria Corrientes Argentina 4 p
- HOLDRIDGE LR 1967 Sistema de clasificacion de zonas de vida de Holdridge Ecologia basada en zonas de vidas San Jose Costa Rica 206 p
- INPOFOS 2004 Absorción de los nutrientes por los cultivos Quito Ecuador No 52 12 pp
- JARAMILLO SANTANDER 1991 Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP Instituto De Investigacion Agropecuaria de Panama Boletín técnico Panama N°38 67 p
- KALAYCIA M TORUNB B EKERB S AYDINA M OZTURKB L CAKMAK I 1999 Grain yield zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc deficient calcareous soil in field and greenhouse Field Crops Research Oxford United Kingdom N°63 87 98 pp
- KOVACIK J KLEJDUS B BACKOR M REPCA M 2007 Phenylalanine ammonia lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen deficient Matricaria chamomilla leaf rosettes Plant Science Oxford United Kingdom N° 172 393 399 pp
- LITTKE K ZABOWAKI D 2007 Influence of calcium fertilization on Douglas fir foliar nutrition soil nutrient availability and sinuosity in coastal Washington Forest Ecology and Management Oxford United Kingdom N° 247 140 148 pp
- MAGNIFICO V VICENSO L GUILIO S 1979 Growth and nutrient removal by broccoli Journal of the American Society for Horticultural Sciences 104 (2) 201 – 203
- MARSCHNER H 1995 Mineral Nutrition of Higher Plants (2nd Ed) Academic Press London England 889 p
- MEJIA S MENJIVAR J 2010 Nutrición mineral del arroz En Producción eco eficiente del arroz en América Latina Tomo I Capítulos 1 24 CIAT FLAR UNICORDOBA Colombia 306 335 pp

- MENGEL K KIRKBY E A 1987 Principles of Plant Nutrition Third edition International Potash Institute Worblaufen Bern Switzerland 593 p
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO (MIDA) 2015 Estudio diseño y construccion del proyecto integral y multi propósito para el desarrollo agropecuario del valle de Tonosí provincia de Los Santos Hidalgo e Hidalgo constructores Panama 193 p
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO (MIDA) 2017 Superficie produccion rendimiento y numero de productores de arroz mecanizado por region en la republica Direccion Nacional De Agricultura Panama Consultado en linea el 20 de julio de 2017 Disponible en <http://www.mida.gob.pa/upload/documentos/2017arrozmecanizado.pdf>
- MIRANDA FRANCISCO 2013 Analisis economico del comercio internacional del arroz y su impacto en el mercado panameño Tesis de licenciatura Escuela Agricola Panamericana Zamorano Honduras 34 p
- MOLINA E RODRIGUEZ J H 2012 Fertilizacion con N P K Y S y curvas de absorcion de nutrientes en arroz var CFX 18 en Guanacaste Agronomia Costarricense San Jose Costa Rica 36(1) 39 51 pp
- MUÑIZ OLEGARIO 2008 Los micros elementos en la agricultura Ministerio de Agricultura Instituto de Suelos Cuba 132 p
- NAME B VILLARREAL J 2004 Compendio de resultados de investigacion del programa de suelos del IDIAP Instituto de Investigacion Agropecuaria De Panama Panama 207 p
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA (FAO) 1999 Guia para el manejo eficiente de la nutricion de las plantas Direccion De Fomento De Tierras Y Aguas Roma Italia 30 p
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA (FAO) 2013 Agro Noticias America Latina y el Caribe Deficit de produccion de arroz en Panama Consultado en linea el 3 de marzo de 2016 Disponible en http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/en/?dyna_fef%5Buid%5D=163385
- PERDOMO M A GONZALEZ J GALVIS Y C DE GARCIA E ARREGOCES O 1985 Los macronutrientes en la nutricion de la planta de arroz In Tascon E Garcia E (eds) Arroz Investigacion y produccion Centro Internacional de

Agricultura Tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) Cali Colombia 103 132 pp

PYO Y GIERTH M SCHROEDER J CHO M 2010 High affinity $K^{(+)}$ transport in Arabidopsis AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and postgermination growth under low potassium conditions Plant Physiology USA N° 153 863 75 pp

QUIROS MCLNTIRE E CAMARGO BUITRAGO I MEJIA JOSE MORENO C 2011 Descripcion varietal de las lineas avanzadas en mejoramiento genetico de arroz IDIAP FL106 11 e IDIAP FL137 11 Instituto De Investigacion Agropecuaria de Panama Penonome Panama 9 p

RAMIREZ F BERTSCH F 1998 Metodologia para generar curvas de absorcion presentacion para curso CIA UCR San Jose Costa Rica 9 p

RAMIREZ F BERTSCH F 2002 Absorcion de nutrientes por los frutos y bandolas de café caturra durante un ciclo de desarrollo y Maduracion de Frutos en Aquiares Turrialba costa rica Agronomia Costarricense San Jose Costa Rica 26 (1) 33 42 pp

RAMIREZ F HENRIQUEZ C BERTSCH F 2000 Elaboracion de las curvas de absorcion de nutrientes y optimizacion del programa de fertilizacion para los cultivos Aster Blanco Spring Aster Solidazo y Solidaster Informe final Investigacion contratada por florexpo S A Programa Minc CIA-VCR San Jose Costa Rica

SANCHO HERNAN 1999 Curvas de absorcion de nutrientes Importancia y uso en los programas de fertilizacion INPOFOS Rev Informaciones agronomicas Quito Ecuador N°36 11 13 pp

SHENKER M PLESSNER O TEL OR E 2004 Manganese nutrition effects on tomato growth chlorophyll concentration and superoxide dismutase activity Plant Physiology USA N°161 197 202 pp

SOLARZANO R 2003 Crecimiento y Nutricion del arroz (Oryza sativa L) en Venezuela INPOFOS Rev Informaciones agronomicas Quito Ecuador N°51 1 5 pp

SUZUKI L HERRIG V FERRARESE M RODRIGUES J FERRARESE FILHO O 2003 Simultaneous effects of ferulic and vanillic acids on peroxidase and phenylalanine ammonia lyase in soybean (Glycine max) roots Phyton Buenos Aires Argentina N°43 179 185 pp

VARGAS M 2002 Fertilizacion con cuatro niveles de nitrogeno fosforo y potasio y curvas de absorcion de la variedad Fedearroz 50 en condiciones de secano favorecido CONARROZ San Jose Costa Rica 24 p

- VILLARREAL J NAME B 1996 Tecnicas analiticas del laboratorio de suelos Instituto de Investigacion Agropecuaria De Panama Panama 110 p
- WILCOX F RIVERA J 2010 Manual De Analisis Del Laboratorio Especializado De Suelos Y Tejido Foliar Del Centro Regional Universitario De Los Santos Universidad de Panama Los Santos Panama 67 p
- XIANG WEN P WEN BIN L QIU YING Z YAN HUA L MING SHAN L 2008 Assessment on Phosphorus Efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in Phosphorus Deficient Soils Agricultural Sciences in China Beijing China N°7 958 969 pp
- YOSHIDA S 1978 Tropical climate and its influence on rice IRRI Research Paper Series 20 International Rice Research Institute (IRRI) Los Baños Filipinas 25 p